



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO KLUZNÉHO KONTAKTU, KVALITATIVNÍCH A FUNKČNÍCH VLASTNOSTÍ „KROUŽKOSTROJŮ“

ANALYSIS OF THE CURRENT SLIDING CONTACT QUALITATIVE AND FUNCTIONAL
CHARACTERISTICS „KROUŽKOSTROJŮ“

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S (BACHELOR'S) THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Václav Kosmák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. František Veselka, CSc.

BRNO 2017

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Bc. Václav Kosmák

ID: 115717

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Analýza stávajícího kluzného kontaktu, kvalitativních a funkčních vlastností "kroužkostrojů"

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s konstrukčním provedením poskytnutých kroužkostrojů.
2. Seznamte se s problematikou kluzného kontaktu a analyzujte kluzný kontakt v kroužkostrojích.
3. Posuďte kvalitu přenosu signálu ze stacionární na rotační část kluzného kontaktu.
4. Posuďte vliv degračních činitelů na přenos signálu ze stacionární na rotační část a vliv proudového zatížení na kvalitu kluzného kontaktu kroužkostroje.
5. Vyhodnoťte měření a zpracujte návrh případných doporučení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] CHMELÍK, K., VESELKA, F.: Kluzný kontakt v elektrických strojích. Ostrava, KEY Publishing s.r.o., ISBN 978-80-87071-59-5
- [2] IEEE Standard for Ethernet Amendment 4: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 1 Gb/s Operation over a Single Twisted-Pair Copper Cable Sponsored
- [3] Firemní literatura výrobců použitých kroužkostrojů

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 24.5.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. František Veselka, CSc.

Konzultant:

doc. Ing. Ondřej Vitek, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Práce pojednává o analýze kluzného kontaktu v kroužkostroji. Je zaměřena na posouzení vlivu proudového zatížení na kluzný kontakt, posouzení kvality přenosu signálu ze statické na rotační část kluzného kontaktu kroužkostroje.

Klíčová slova

Kluzný kontakt, kartáč, kroužek, kroucená dvojlinka, toleranční maska, diagram oka, přeslech signálu NEXT, přeslech signálu FEXT, útlum, kapacitní vazba,

Abstract

Thesis deals with the analysis of the sliding contact in the ring mill. It focuses on the assessment of the effect of the current load on the sliding contact, the assessment of the signal transmission quality from the static to the rotara part of the ring contact slide contact.

Keywords

Slip ring, brush, ring, twisted pair, tolerance mask, eye diagram, NEXT signal crosstalk, FEXT signal crosstalk, attenuation, capacitance,

Bibliografická citace:

KOSMÁK, V. Analýza stávajícího kluzného kontaktu, kvalitativních a funkčních vlastností „kroužkостrojů“. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 77s. Vedoucí práce: doc. Ing. František Veselka, CSc.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma Analýza stávajícího kluzného kontaktu, kvalitativních a funkčních vlastností „kroužkostrojů“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího **diplomové** práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne **17. května 2017**

.....

podpis autora

Poděkování (nepovinné)

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Františku Veselkovi, CSc., Ing. Danielu Struhařovi, Ing. Romanu Šotnerovi, Ph.D., Josefu Němcovi a Zdeňku Liškovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne **17. května 2017**

.....
podpis autora

OBSAH

1	Úvod	1
1.1	Konstrukční provedení poskytnutých kroužkостrojů	2
1.2	Zapouzďřený kroužkостroj MOOG AC6023	3
1.3	Zapouzďřený kroužkостroj PENLINK SRC022-24.....	6
2	Kluzný kontakt.....	9
2.1	Základní elementy kluzného kontaktu.....	9
2.1.1	Kartáče	9
2.1.2	Komutátory	10
2.1.3	Sběrací kroužky	12
2.2	Rozdělení kluzných kontaktů.....	13
2.2.1	Kluzný kontakt kartáč-kroužek.....	13
2.2.2	Kluzný kontakt kartáč-komutátor	13
2.3	Analýza kluzného kontaktu v kroužkостrojích.....	14
2.3.1	Proudové zatížení	14
2.3.2	Volba měřicí metody.....	14
2.3.3	Ohmova metoda měření malých odporů	15
2.3.4	Degradační činitele přenosu signálu v kroužkостroji	16
2.4	Měřicí přípravek na měření proudového zatížení kluzného kontaktu kroužkостrojů	17
3	Kvalita přenosu signálu ze stacionární na rotační část kluzného kontaktu	19
3.1	Kabel kategorie 5, 5e (CAT5, 5e)	19
3.1.1	Kroucená dvojlinka a její provedení	19
3.1.2	Důvod kroucení vodičů.....	20
3.2	Standarty kabelu kategorie 5	21
3.3	Charakteristické parametry kabelu CAT5e UTP	23
3.4	Odolnost kabelu vůči okolnímu prostředí	24
3.5	Datové vodiče v kroužkостroji.....	24
3.6	Metody výběru vhodného kroužkостroje pro různé aplikace gigabitového Ethernetu dle normy IEEE 802.3.....	25
3.7	Výkonové parametry ovlivňující kvalitu Ethernetového signálu	26
3.7.1	Wire map (mapa zapojení).....	26
3.7.2	NEXT (přeslech signálu na blízkém konci)	26
3.7.3	Attenuation (útlum)	27
3.7.4	FEXT (přeslech signálu na vzdáleném konci)	27
3.8	Vektorový obvodový analyzátor ENA E5071C.....	28
3.8.1	Měření výkonových parametrů NEXT a FEXT ethernetového kabelu CT5e UTP	29

3.8.2	Měření výkonových parametrů NEXT a FEXT ethernetového kabelu kroužkostroje	31
3.9	Nastavení vstupních parametrů signálu generovaného analyzátozem ENA E5071C	35
3.10	Vyhodnocení kvality přenosu signálu na kluzném kontaktu	37
3.10.1	Kvalita přenosu signálu ethernetovým kabelem CAT5e UTP	38
3.10.2	Kvalita přenosu signálu na kluzném kontaktu.....	40
4	Vliv degradačních činitelů na přenos signálu ze stacionární na rotační část a vliv proudového zatížení na kvalitu kluzného kontaktu kroužkostroje	42
4.1	Degradační činitelé působící na přenos signálu	43
4.2	Vliv proudového zatížení působící na kluzný kontakt kroužkostroje.....	45
5	Vyhodnocení měření	46
5.1	Výsledky měření parametru NEXT a FEXT	51
	Závěr.....	57
	Literatura	58
	Příloha 1.....	59
	Postup měření vlivu zatěžovacího proudu na úbytek napětí a přechodový odpor na kluzném kontaktu	59
	Manipulátor MSO-2/A.....	60
	Harmonogram zkoušek.....	62
	Příloha 2.....	63
	Harmonogram zkoušek měření přenosu signálu ze statické na rotační část kluzného kontaktu.....	63

Seznam obrázků

Obr. 1.1-1 Provedení kroužkostrojů[1]	2
Obr. 1.2-1 Základní rozměry kroužkostroje AC6023[1]	3
Obr. 1.2-2 Kluzný kontakt kroužkostroje AC6023[1]	4
Obr. 1.2-3 Detail sběracího ústrojí kartáč-kroužek.....	5
Obr. 1.2-4 Detail kluzného kontaktu AC6023	5
Obr. 1.3-1 Základní rozměry kroužkostroje SRC022-24 [2]	7
Obr. 1.3-2 Detail kluzného kontaktu SRC022-24	8
Obr. 2.1-1 Uhlíkové kartáče.....	10
Obr. 2.1-2 Lisovaný komutátor	11
Obr. 2.1-3 Sběrací kroužky	12
Obr. 2.3-1 Schéma zapojení měřicího pracoviště – Ohmova metoda měření malých odporů	16
Obr. 2.4-1 Měřicí pracoviště pro měření proudového zatížení kroužkostroje	17
Obr. 2.4-2 Detail sběracího ústrojí měřicího přípravku.....	18
Obr. 3.1-1 Datový kabel kategorie CAT5e UTP/STP.....	20
Obr. 3.1-2 Vliv nežádoucího elektromagnetického záření na rovné vodiče a na kroucenou dvojlinku.....	21
Obr. 3.2-1 Konektor RJ45 pro kabel CAT5e a jeho normované zapojení	22
Obr. 3.7-1 Přeslech signálu na blízkém konci, tzv. NEXT [5].....	27
Obr. 3.7-2 Útlum signálu měřený na kroucených párech kabelu CAT5e [5].....	27
Obr. 3.7-3 Přeslech signálu na vzdáleném konci kabelu, tzv. FEXT [5].....	27
Obr. 3.8-1 Vektorový obvodový analyzátor ENA E5071C	28
Obr. 3.8-2 Schéma zapojení pro měření útlumu přeslechu na blízkém konci NEXT	29
Obr. 3.8-3 Schéma zapojení pro měření útlumu přeslechu na vzdáleném konci FEXT	30
Obr. 3.8-4 Provedení ethernetového kabelu kroužkostroje kroucením 4-párů vodičů	31
Obr. 3.8-5 Blokové schéma zapojení pracoviště pro měření NEXT, FEXT	32
Obr. 3.8-6 Schéma zapojení měření NEXT s kroužkostrojem [6]	33
Obr. 3.8-7 Schéma zapojení měření FEXT s kroužkostrojem [6]	33
Obr. 3.8-8 Rozpletení datových vodičů v kroužkostroji, liché vodiče.....	34
Obr. 3.8-9 Rozpletení datových vodičů v kroužkostroji, sudé vodiče.....	34
Obr. 3.8-10 Kluzný kontakt kroužkostroje bez ochranného krytu	35
Obr. 3.9-1 Nastavení parametrů signálu v záložce „Eye/Mask“	36
Obr. 3.10-1 Diagram oka pro toleranční masku Ethernet 100BASE-TX.....	39

Obr. 3.10-2 Diagram oka pro toleranční masku Ethernet 1000BASE-T	39
Obr. 3.10-3 Diagram oka pro toleranční masku 100BASE-TX u kroužkostroje.....	41
Obr. 3.10-4 Diagram oka pro toleranční masku Ethernet 1000BASE-T u kroužkostroje.....	41
Obr. 4.1-1 Vazební mechanismy přenosu rušivých signálů.....	44
Obr. 4.1-2 Kapacitní vazby galvanicky odděleného vedení	45
Obr. 4.2-1 Porovnání úbytků napětí nových kroužkostrojů SRC022-24 a AC6023	50
Obr. 5.1-1 Kabel CAT5e UTP, maska 100BASE-TX.....	53
Obr. 5.1-2 Kabel CAT5e UTP, maska 1000BASE-T	54
Obr. 5.1-3 Kabel CAT5e UTP, přeslech NEXT	54
Obr. 5.1-4 Kroužkostroj PENLINK, maska 100BASE-TX.....	55
Obr. 5.1-5 Kroužkostroj PENLINK, maska 1000BASE-T	55
Obr. 5.1-6 Kroužkostroj PENLINK, přeslech NEXT	56

Seznam tabulek

Tabulka 1.2.1 Rozměry pouzdra kroužkostroje AC6023.....	4
Tabulka 1.2.2 Barevné značení vodičů v kluzném kontaktu AC6023	6
Tabulka 1.3.1 Délka statoru SRC022	7
Tabulka 1.3.2 Barevné značení vodičů v kluzném kontaktu SRC022-24 [2]	8
Tabulka 3.3.1 Elektrické vlastnosti kabelu CAT5e UTP	23
Tabulka 3.3.2 Příklady používaných izolačních materiálů	23
Tabulka 4.1.1 Typické hodnoty útlumu a přeslechu NEXT dle normy ANSI/TIA/EIA 568	43
Tabulka 4.2.1 Sběrací kroužek PENLINK č.1 (NOVÝ).....	46
Tabulka 4.2.2 Sběrací kroužek PENLINK č.2 (NOVÝ),.....	47
Tabulka 4.2.3 Sběrací kroužek PENLINK č.3 (POUŽÍVANÝ),.....	47
Tabulka 4.2.4 MOOG č.1 NOVÝ.....	48
Tabulka 4.2.5 Porovnání úbytků napětí nových kroužkostrojů SRC022-24 a AC6023	48
Tabulka 4.2.6 MOOG 2 POUŽÍVANÝ	49
Tabulka 4.2.7 MOOG 3 NOVÝ	49
Tabulka 5.1.1 Kabel CAT5e-naměřené hodnoty NEXT	52
Tabulka 5.1.2 Kabel CAT5e - naměřené hodnoty FEXT	52
Tabulka 5.1.3 SRC022-24 naměřené hodnoty NEXT.....	52
Tabulka 5.1.4 SRC022-24 - naměřené hodnoty FEXT.....	52

1 ÚVOD

Tato práce pojednává o úloze kluzného kontaktu v kompaktní elektronické součástce, tzv. kroužkostroji. Kroužkostroj se podílí na mnoha funkčních úlohách, představovaných např. přenosem napájecího proudu ze statické části elektrického zařízení do jeho rotační části a stejně tak i na přenosu různých druhů signálu, to vše, dle specifických potřeb uživatele.

Cílem této práce je přiblížení funkce kluzného kontaktu v praktických aplikacích, posouzení možných degradačních vlivů na kvalitu kluzného kontaktu, stejně tak i na kvalitu přenášeného signálu, využívaného pro potřeby ethernetového spojení.

Práce vznikla za významné podpory a spolupráce firmy EVPÚ DEFENCE a.s., jež poskytla vzorky kroužkostrojů a dalších zařízení, která využívá ve svých aplikacích. Tyto poskytnuté elektronické součásti byly využity pro potřeby vlastního měření a zkoumání vlivu kluzného kontaktu na chod kroužkostroje.

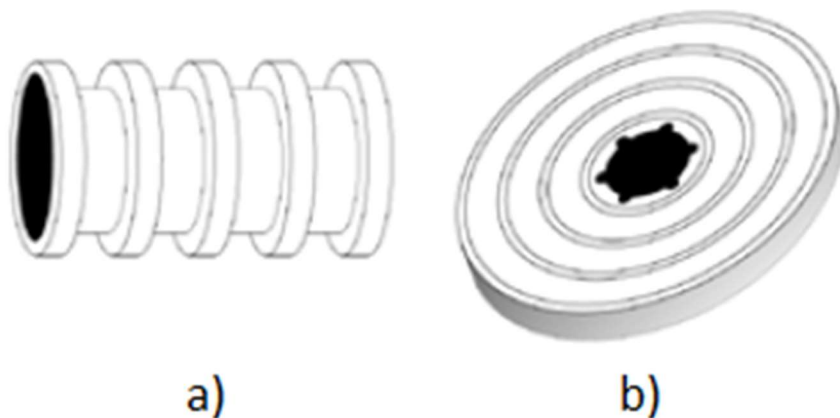
1.1 Konstrukční provedení poskytnutých kroužkостrojů

Provedení kroužkостrojů můžeme na základě typických aplikací, ve kterých jsou používány, rozdělit do tří hlavních skupin.

Jedná se v podstatě o plně integrovanou jednotku s pouzdrem a ložisky – tzv. „Zapouzdřený kroužkостroj“, samostatný rotor s kroužkem a bloky kartáčů pro montáž do systému – tzv. „Separovaný kroužkостroj“ a omezené rotační zařízení typicky používané v aplikacích pro skenování, ve kterých se nevyžaduje nepřetržité otáčení – tzv. „Závitový zapouzdřený kroužkостroj“.

Existují dvě základní provedení kroužkостrojů, které se zvažují na základě využitelného místa v elektrickém zařízení, kam budou kroužkостroje nainstalovány a budou plnit svoji funkci.

První z nich je „Válcové provedení“, v němž jsou kroužky uspořádány na hřídel, osazenou ložisky a kartáči uchycenými v plastovém jádře nalisovaném taktéž na hřídeli. Celé toto uspořádání je zabudováno v hliníkovém či pochromovaném pouzdře. Druhé provedení je tzv. „Talířovité“, kde jsou kroužky zhotovené formou soustředných kruhových drážek kolem středu kulaté destičky. [1]



Obr. 1.1-1 Provedení kroužkостrojů[1]

Legenda: a) válcové provedení
 b) talířovité provedení

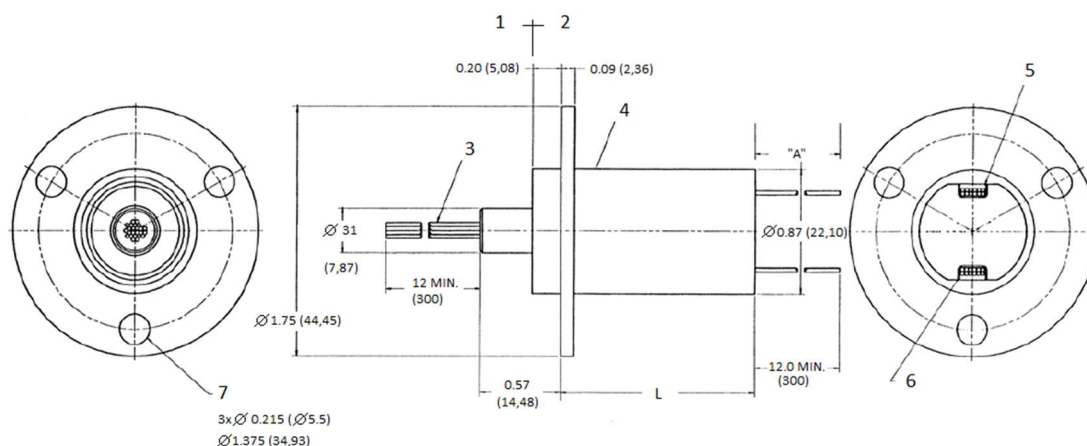
1.2 Zapouzdrěný kroužkостroj MOOG AC6023

Konstrukční provedení kroužkостroje musí odpovídat nejen nárokům kladeným na prostor, ale i elektrickým požadavkům celého systému, pro nějž je kroužkостroj používán. Z tohoto důvodu mají elektroinženýři mnohdy nelehký úkol, v podobě výběru vhodného kroužkостroje, dostupného na trhu.

Tento typ kroužkостroje je vhodný pro použití v libovolného elektromechanickém systému, vyžadujícím nepřetržité otáčení při přenosu energie, anebo dat z jeho stacionární na rotující část. V technické literatuře se můžeme pro tento typ kroužkостroje též setkat s názvy jako např. rotační elektrické rozhraní, komutátor, kolektor, otočný či elektrický otočný spoj.

Model AC6023 je standardním představitelem zapouzdrěného provedení kroužkостroje, jenž pro potřeby svého kluzného kontaktu využívá zlatých kontaktů. Barevné značení vodičů je pro stator i rotor stejné, z důvodu jednoduchosti následného elektrického připojení. Kroužkостroj se vyrábí v 6, 8, 12, 18 a 24 obvodových variantách

Na obrázku 1.2.1 je uveden okótovaný bokorys a půdorys kroužkостroje a na obrázku 1.2.2 je konstrukční řešení samotného kluzného kontaktu.



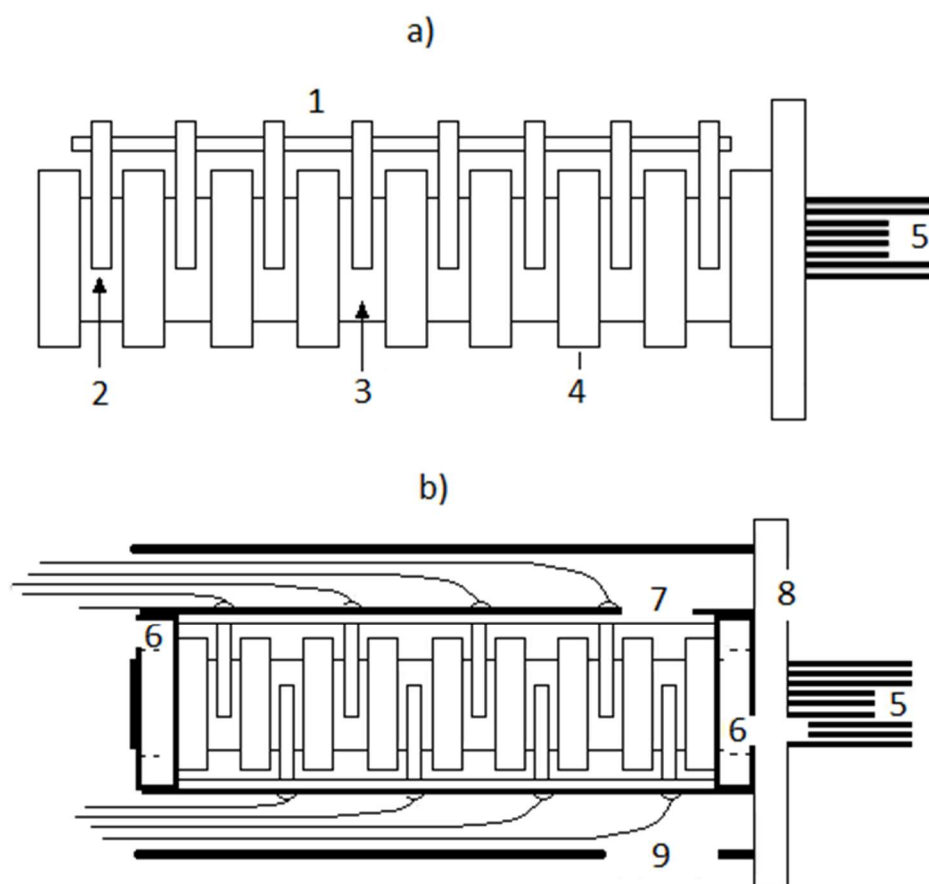
Obr. 1.2-1 Základní rozměry kroužkостroje AC6023[1]

- Legenda:
- 1 – Strana statoru,
 - 2 – Strana rotoru,
 - 3 – AWG28 postříbřené měděné vodiče, typ ET TEFLON,
 - 4 – Okruh č.1 – zakončení,
 - 5. – Liché obvody,
 - 6 – Sudé obvody,
 - 7 – rovnoměrné rozložení děr.

Pozn.: Rozměr „A“ a „L“ v obrázku 1.2.1 je proměnlivý, a to v závislosti na použité variantě kroužkostroje AC6023. V našem případě se jedná o výrobek AC6023-24.

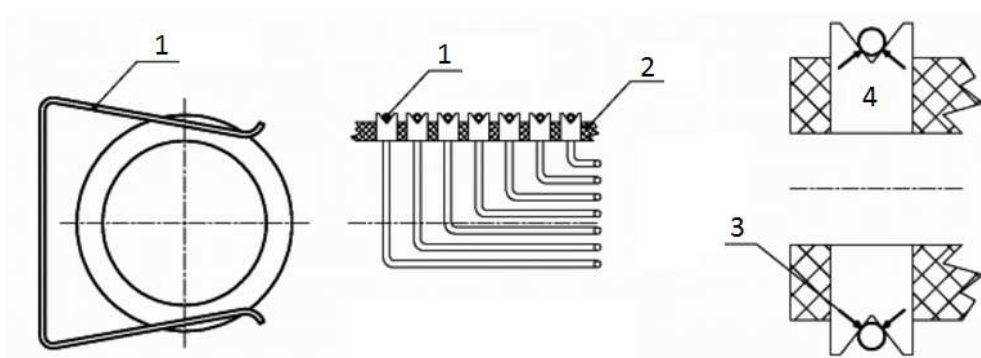
Tabulka 1.2.1 Rozměry pouzdra kroužkostroje AC6023

Výkresové číslo	Rozměry [L] a [A]		
	Délka pouzdra (L)	Výška pouzdra [A]	Počet el. obvodů
AC6023-6	0.57 inch (14,5 mm)	12 in (304,8 mm)	6
AC6023-12	0.84 inch (21,3 mm)	24 in (609,6 mm)	12
AC6023-18	1.11 inch (28,2 mm)	36 in (914,4 mm)	18
AC6023-24	1.38 inch (35,1 mm)	48 in (1219,2 mm)	24



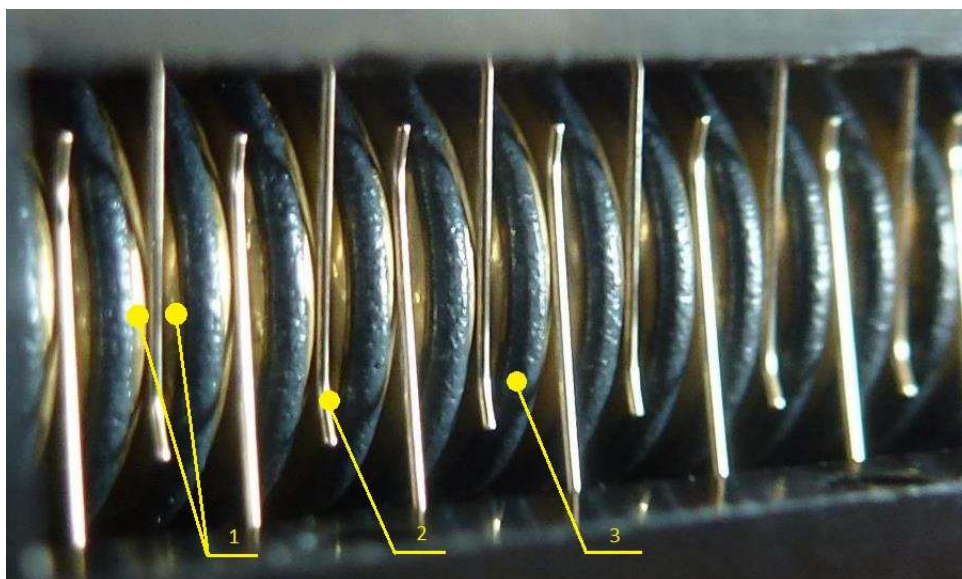
Obr. 1.2-2 Kluzný kontakt kroužkostroje AC6023[1]

- Legenda:
- a) Samostatná sestava bloku kartáčů a kroužků,
 - b) Typické pouzdro kroužkostroje,
 - 1 – Terminály,
 - 2 – Kartáč,
 - 3 – Kroužek,
 - 4 – Izolační bariéra,
 - 5 – Vodiče,
 - 6 – Ložisko,
 - 7 – Rám,
 - 8 – Montážní rám,
 - 9 – Pouzdro.



Obr. 1.2-3 Detail sběracího ústrojí kartáč-kroužek

- Legenda:
- 1 - Kartáč
 - 2 - Izolace
 - 3 - Kontakty kartáče se sběracím kroužkem
 - 4 - Kroužek



Obr. 1.2-4 Detail kluzného kontaktu AC6023

Legenda: 1 – Kroužek,
 2 – Kartáč,
 3 – Izolační bariéra.

V kroužkostroji jsou použity postříbřené měděné lankové vodiče o průřezu AWG28, zapojeny ke kroužkům a kartáčům dle uvedeného číselného, kódového a barevného značení v Tab. 1.1.2.

Tabulka 1.2.2 Barevné značení vodičů v kluzném kontaktu AC6023

Barevné značení vodičů					
Číslo kroužku	Barevný kód	Číslo kroužku	Barevný kód	Číslo kroužku	Barevný kód
1	BLK	9	GRY	17	WHT-BLU
2	BRN	10	WHT	18	WHT-VIO
3	RED	11	WHT-BLK	19	WHT-GRY
4	ORN	12	WHT-BRN	20	WHT-BLK-BRN
5	YEL	13	WHT-RED	21	WHT-BLK-RED
6	GRN	14	WHT-ORN	22	WHT-BLK-ORN
7	BLU	15	WHT-YEL	23	WHT-BLK-YEL
8	VIO	16	WHT-GRN	24	WHT-BLK-GRN

Typické využití najde tento typ kroužkostroje v:

- konstrukčních rámech průmyslových kamer CCTV,
- elektrických zkušebních zařízeních, zařízeních pro výrobu a řízení procesů, - indexovací tabla,
- robotika.
- Ukázkových/zobrazovacích zařízeních,
- Lékařském vybavení.

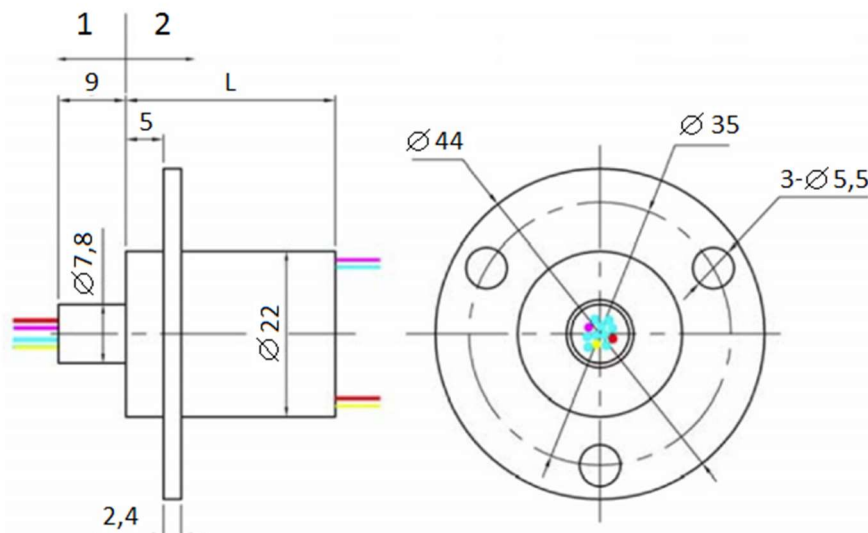
1.3 Zapouzdřený kroužkostroj PENLINK SRC022-24

Konstrukční provedení tohoto kroužkostroje je založeno na stejném principu, jaký je použit u AC6023. Vyrábí se ve čtyřech variantách, se 6, 12, 18 a 24 elektrickými obvody.

Komponenty kluzného kontaktu (kroužky, kartáče) jsou vyhotoveny ze zlata a jejich slitin, a to z důvodu lepších elektrických vlastností. Kartáče jsou uchyceny v plastovém jádře kroužkostroje, rozděleném na dvě protilehlé strany, sudé a liché obvody. Sběrací kroužky jsou mezi sebou navzájem odděleny izolační bariérou, která zamezuje vniku proudu z okolních obvodů.

Vodiče statoru jsou vodivě spojeny s kroužky a rotorové vodiče s kartáči kluzného kontaktu. Barevné značení vodičů se od prvního kroužkostroje liší, stejně tak připojení k jednotlivým kroužkům.

Na následujícím obrázku 1.3.1 je uveden bokorys a půdorys kroužkostroje SRC022-24.



Obr. 1.3-1 Základní rozměry kroužkostroje SRC022-24 [2]

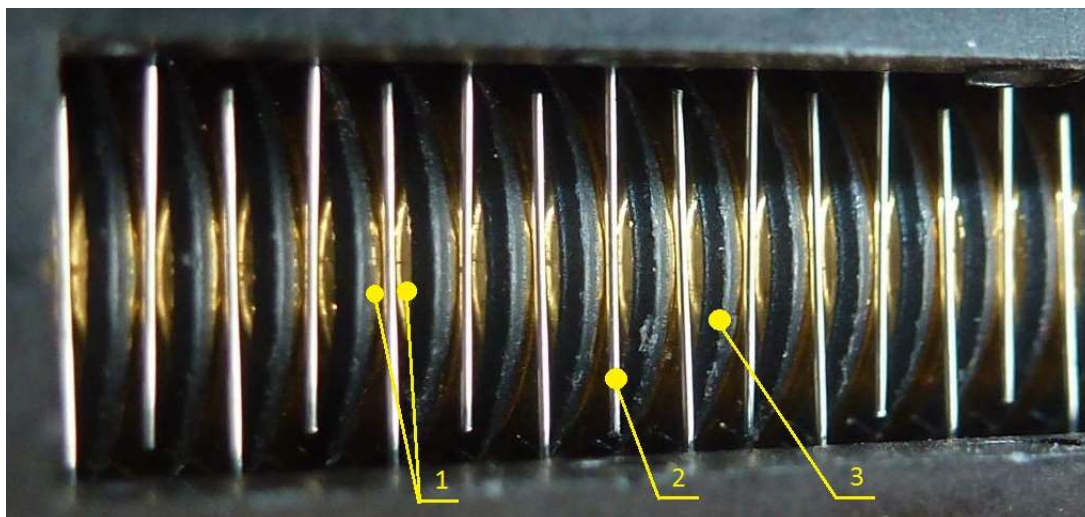
Legenda: 1 – Strana rotoru,
2 – Strana statoru.

Rozměr „L“ (délka statoru) je závislá na počtu elektrických obvodů v kroužkostroji (viz Tab. 1.3.1).

Tabulka 1.3.1 Délka statoru SRC022

Model	Rozměr „L“ [mm]
SRC022-6	19
SRC022-12	28
SRC022-15	29,5
SRC022-18	33,4
SRC022-24	41,2

Pozn.: Z dostupné technické dokumentace kroužkostroje není znám náskres konkrétního řešení kluzného kontaktu. Nicméně demontáž hliníkového pouzdra nabízí možnost porovnání s AC6023. Všimněme si např. jiného provedení izolační bariéry mezi kroužky a rozdílného průměru kartáčů.



Obr. 1.3-2 Detail kluzného kontaktu SRC022-24

Legenda: 1 – Kroužek
 2 - Kartáč
 3 – Izolační bariéra

V kroužkostroji jsou použity postrříbřené měděné lankové vodiče AWG26 popř. AWG28 s izolací PTFE (Poly Tetra Fluor Ethylen, známý též jako Teflon), pro jmenovitý proud 2A. Zapojení jednotlivých vodičů a jejich příslušnost, dle barevného značení, ke sběracím kroužkům je uvedeno v Tab. 2.2.2.

Tabulka 1.3.2 Barevné značení vodičů v kluzném kontaktu SRC022-24 [2]

Barevné značení vodičů					
Číslo kroužku	Barevný kód	Číslo kroužku	Barevný kód	Číslo kroužku	Barevný kód
1	RED	9	BRN	17	WHT-BRN
2	GRN	10	ORN	18	WHT-GRN
3	YEL	11	WHT	19	WHT-ORN
4	PUP	12	KHK	20	WHT-YEL
5	GRY	13	WHT-RED	21	WHT-GRY
6	BLK	14	WHT-BLK	22	BLK-RED
7	BLU	15	WHT-BLU	23	BLK-BLU
8	DBLU	16	WHT-PUP	24	YEL-GRN

Typické oblasti využití v technické praxi tohoto kroužkostroje jsou:

- Kamerové systémy průmyslových kamer CCTV,
- Robotika,
- Kabelové navijáky,
- Zdravotnická zařízení,
- Balící stroje.

2 KLUZNÝ KONTAKT

U většiny elektrických strojů je nutné provést pro jejich správný chod, elektrické spojení otáčející se části stroje s vnějším obvodem.

Do rotoru je nutno:

- přivést elektrickou energii nutnou pro chod stroje (ss motory, střídavé komutátorové motory),
- odvést vyrobenou elektrickou energii z kotvy stroje (dynama),
- přivést k otáčejícímu se induktoru elektrickou energii nutnou pro vytvoření magnetického pole ve stroji (synchronní generátory a motory),
- řídit proud nebo otáčky elektrického stroje zařízením, umístěným mimo tento stroj (kroužkové asynchronní motory),
- ve speciálních případech z jakýchkoliv jiných důvodů převést elektrickou energii ať ve formě střídavého nebo stejnosměrného proudu.

Výše uvedený přenos elektrické energie zprostředkovává na statoru sběrací ústrojí a na rotoru komutátor nebo kroužky. Na rozhraní mezi těmito dvěma částmi musí tedy dojít k elektrickému spojení obou částí pomocí kluzného kontaktu.

Důležitou podmínkou je, aby se toto spojení realizovalo bez jiskření a aby nedocházelo k jeho přerušení. U elektrických strojů musí být tedy zajištěno dobré elektrické i mechanické spojení kluzných komponentů na statoru a rotoru.

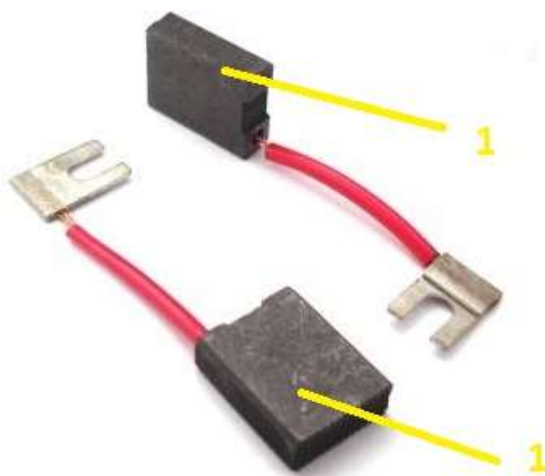
Základními aktivními elementy kluzného kontaktu, tzn. částmi, které po sobě bezprostředně kloužou, vedou elektrický proud a aktivně se podílejí na dějích v kluzném kontaktu jsou:

- Kartáče,
- Komutátory nebo kroužky. [3]

2.1 Základní elementy kluzného kontaktu

2.1.1 Kartáče

Původní kartáče, používané u prvních elektrických strojů, představovaly svazek drátů, anebo měděnou síťku stočenou do svitku. Odtud také pochází dnešní název kartáč. Je pochopitelné, že takový kartáč značně jiskřil. Původně se rovněž předpokládalo, že stejnosměrný stroj je tím silnější, čím intenzivnější je jiskření jeho drátových kartáčů. [3]



Obr. 2.1-1 Uhlíkové kartáče

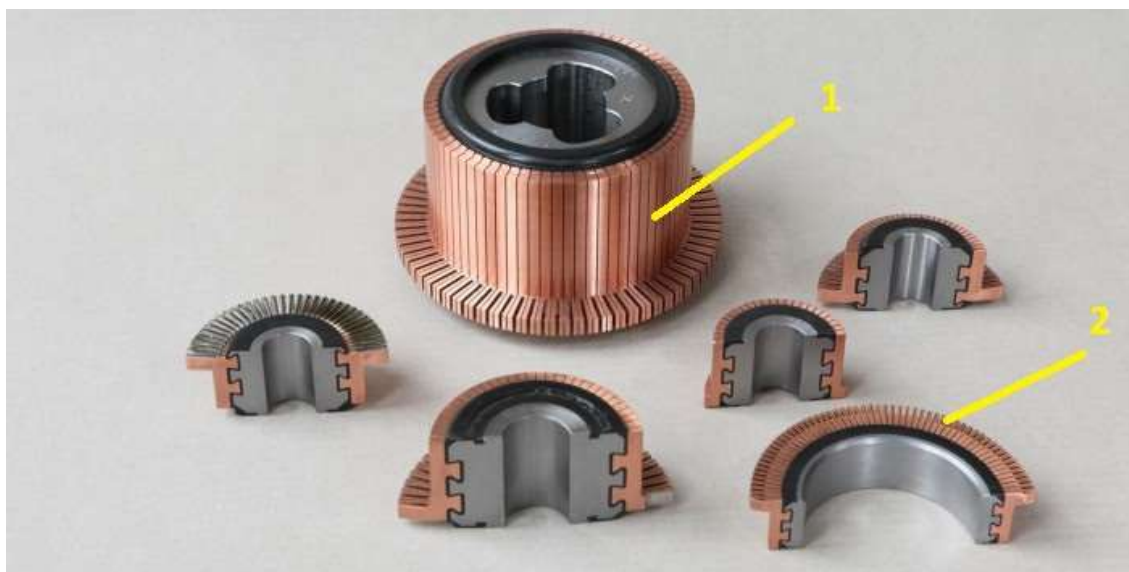
Legenda: 1 – Klasický uhlíkový kartáč

V dnešní době se pro výrobu kartáčů používá šest základních skupin kartáčových materiálů:

- Uhlografit – směs amorfního uhlíku a grafitu,
- Přírodní grafit – čistý přírodní grafit a pojivo,
- Elektrografit – amorfní uhlík z těchto surovin jako uhlografit (koks, saze, grafit) zpracovaný vypalováním za teploty 2500 °C,
- Kovografit – směs kovů a grafitu,
- Speciální materiály jako bakelitový uhlografit, grafit impregnovaný kovem pro speciální účely,
- Inovované kartáče.

2.1.2 Komutátory

Komutátor je část elektrického stroje, sloužící ke změně kmitočtu proudu kotvy nebo napájecí sítě a k přívodu nebo odvodu proudu do vinutí kotvy. Je složen ze soustředně uložených a vhodně stažených lamel. Lamely jsou izolovány vzájemně mezi sebou i proti nosné konstrukci. Konce vinutí jsou připojeny ke komutátoru obvykle přes tzv. Praporky, které se zapájí do vyfrézovaných zářezů v lamelách. Konstrukce komutátoru musí být taková, aby jeho povrch měl dokonale hladkou válcovou plochu, souosou s rotační osou kotvy. Komutátor musí být naprosto jednolitý celek.



Obr. 2.1-2 Lisovaný komutátor

Legenda: 1 – Komutátor
 2 – Řez komutátorem

Komutátory dělíme podle:

- Konstrukce (rybinové, zděřové),
- Způsobu výroby (lisované, skládané),
- Geometrie pracovní polohy (válcové, čelní).

Zvláště za provozu stroje, bývá komutátor stroje vystaven značnému tepelnému namáhání. Většina komutátorů běžných konstrukcí má lamely vyrobeny z komutátorové mědi. Uvedené tepelné namáhání se často nepříznivě projevuje v mechanických vlastnostech komutátoru, zvláště pak v tvrdosti lamel. To má za následek variabilitu součinitele tření mezi kartáčem a komutátorem, větší sklon k opotřebení komutátoru, apod. Proto se zvláště u trakčních strojů, začalo pro výrobu lamel užívat slitin mědi, které lépe snášejí uvedené změny tepelných stavů. Prakticky se jedná o měď legovanou kadmíem, nebo chromem. Další výhodou těchto slitin je i vyšší mez kluzu, která dovolí snížit rozměry komutátoru a tím vlastně snížit i obvodovou rychlost komutátoru.

Hlavním důvodem pro používání slitin pro lamely komutátorů je však znehodnocování mechanických vlastností mědi při zvýšených tepelných namáháních. [3]

2.1.3 Sběrací kroužky

Konstrukce kroužků vyžaduje značné věnování pozornosti v oblasti mechanické pevnosti, výběru materiálu a stavu opracování povrchu. To vše z důvodu vyššího výskytu jiskření mezi kartáči a kroužky než je tomu u kontaktu kartáč - komutátor. Vlastní konstrukční uspořádání a uchycení vodivých sběracích kroužků na hřídeli stroje, závisí na druhu a velikosti stroje.

U asynchronních motorů tvoří kroužky obvykle jeden celek. U menších motorů jsou zalisované v umělé pryskyřici, u větších strojů jsou sběrné kroužky nasazeny na izolované ocelové pouzdro. Vzájemně jsou odděleny mezi stěnami z tvrzeného papíru nebo tvrzené tkaniny. Celek bývá stažen buď maticí nebo stahovacími svorníky.

Co se týče rozměrů kroužků, jsou doporučeny průměry z řady 31,5; 50,0; 63,0; 80,0; 100, 0; 125,0; 160,0; 200,0; 250,0; atd. a šířky 10, 16, 25, 32 mm. Dovolené opotřebení kroužků je pak 3 mm pro D do 20 mm a postupně se zvyšuje až na 7 mm pro D = 500 mm.

Materiálem nejčastěji používaným pro výrobu kroužků, jsou slitiny mědi. Tyto slitiny by neměly obsahovat ani nepatrné stopy hliníku, stejně tak obsah zinku by ve slitině neměl překročit 5%. Přítomnost i nepatrného množství hliníku vede k nadměrnému opotřebení kartáčů i kroužků.

Mezi nejčastěji používané materiály sběracích kroužků patří:

- Bronzy (cínové, cín-zinkové, cín-fosforové),
- Slitina mědi s niklem (kroužky v prostředích s velkým opotřebením - suchý vzduch, silikonové výpary),
- Ocel (synchronní stroje – vysoké obvodové rychlosti),
- Elektrolýtická měď



Obr. 2.1-3 Sběrací kroužky

2.2 Rozdělení kluzných kontaktů

Z hlediska posuzování jevů v kluzném kontaktu i činnosti jeho částí je účelné provést rozdělení kluzných kontaktů podle charakteru kluzných ploch a podle druhu přenášeného proudu. Z tohoto pohledu existuje kluzný kontakt:

- Kartáč-kroužek přenášející stejnosměrný proud (synchronní stroje),
- Kartáč-kroužek přenášející střídavý proud (asynchronní motory, třífázové střídavé komutátorové motory napájené do rotoru, speciální stroje),
- Kartáč-komutátor přenášející stejnosměrný proud (ss stroje),
- Kartáč-komutátor přenášející střídavý proud (střídavé komutátorové stroje).

Je patrné, že z konstrukčního hlediska existují dvě hlavní skupiny kluzných kontaktů, a to kartáč-komutátor a kartáč-kroužek. Tyto skupiny se pak ještě dělí podle toho, zda vedou střídavý nebo stejnosměrný proud. Mezi oběma uvedenými hlavními skupinami kluzných kontaktů v elektrických strojích točivých existují zásadní rozdíly mechanické a elektrické. [3]

2.2.1 Kluzný kontakt kartáč-kroužek

Z mechanického hlediska mají kroužky kluzný povrch zpravidla celistvý, jejich povrch není přerušován ve směru osy kroužku. Může však mít po obvodu ve směru otáčení drážky. Pracovní poloha kartáčů na kroužcích je obvykle taková, že jejich delší rozměr je rovnoběžný se směrem otáčení kroužku. Rozmístění kartáčů po obvodu kroužku není závislé na počtu pólů stroje.

Co se týče elektrické funkce tohoto typu kluzného kontaktu, tak má kontakt kartáč-kroužek za úkol, v podstatě, „jen“ převedení proudu z otáčející se části do vnějšího prostoru a naopak.

2.2.2 Kluzný kontakt kartáč-komutátor

Komutátory jsou složeny z lamel a jejich kluzná plocha není tedy celistvá, ale má drážky, které jsou rovnoběžné s osou stroje. Kartáče na komutátorech pracují tak, že jejich kratší rozměr je rovnoběžný se směrem otáčení. Rozmístění řad kartáčů je dáno počtem pólů stroje.

Po elektrické stránce plní kontakt kartáč-komutátor na rozdíl od kontaktu kartáč-kroužek ještě další úkoly, kterými jsou např. zajišťování elektrického spojení lamel komutátoru, na něž jsou připojeny komutující cívky a vyrovnávání rozdílu mezi kompenzačním a reaktančním napětím v komutující cívce.

2.3 Analýza kluzného kontaktu v kroužkostrojích

Cílem této kapitoly je seznámení se s degračními činiteli a kritickými parametry, působícími na kluzný kontakt, v poskytnutých kroužkostrojích. Zkoumán bude především vliv proudového zatížení na samotný kluzný kontakt a vliv kroužkostroje na kvalitu přenosu datového signálu ze statické na rotační část kluzného kontaktu.

Výstupem je aplikace vhodné metody, navržení a zkonstruování měřicího přípravku, ke zjištění a vyhodnocení degračních vlivů, působících na kluzný kontakt.

2.3.1 Proudové zatížení

Samotné kroužky a kartáče kroužkostroje jsou vyrobeny z drahých kovů, konkrétně slitin zlata, což znamená, že se v tomto případě jedná o takzvaný kontakt typu „kov na kov“. Z hlediska proudového zatížení jde o zásadní skutečnost, neboť se možný uvažovaný zatěžovací proud značně liší od zatěžovacích proudů klasických kluzných kontaktů, využívajících ke své činnosti uhlíkové kartáče a kroužky ze slitin mědi.

Standardní proudová zatížitelnost pozlacených kroužků a kartáčů ze zlatých vláken je rovna 7000 A na palec. Úbytek napětí na kluzném kontaktu tohoto provedení se zvyšujícím se proudovým zatížením roste, stejně tak jeho přechodový odpor. Na základě zmiňované vysoké proudové zatížitelnosti zlata a jeho slitin, je zde možné předpokládat lineární růst závislosti úbytku napětí na zatěžovacím proudu v celém rozsahu prováděného měření. [4]

2.3.2 Volba měřící metody

Na základě technické specifikace kroužkostrojů AC6023 a SRC022-24, která uvádí, že přechodový odpor na kluzném kontaktu je menší nebo roven jednomu Ohmu, byla pro měření vlivu proudového zatížení na velikost přechodového odporu a úbytku napětí v kluzném kontaktu, zvolena „Ohmova metoda měření malých odporů“.

Pro tuto metodu bylo nutné sestavit unikátní měřící přípravek, z dostupných elektrických zdrojů, konstrukčních materiálů a měřících přístrojů, ze stavu dílen a laboratoří Ústavu Výkonové elektrotechniky a elektroniky a za přispění firmy EVPÚ DEFENCE a.s.

Fotodokumentace měřicího pracoviště i s měřícím přípravkem je uvedena v PŘÍLOZE 1.

2.3.3 Ohmova metoda měření malých odporů

Princip této měřicí metody je založen na přímém (správném) měření napětí zkoumaného objektu voltmetrem, v našem případě kontaktního styku kartáč-sběrací kroužek. Ampérmetr snímá protékající proud voltmetrem a kroužkostrojem. Chyba metody je tedy způsobena proudem voltmetru.

Správnou hodnotu odporu určíme:

$$R_x = \frac{U_x}{I - I_v} = \frac{U_x}{I - \frac{U_x}{R_v}} \quad [\Omega],$$

Díky velkému vnitřnímu odporu voltmetru R_v lze zanedbat proud procházející voltmetrem. Celková chyba měření je dána algebraickým součtem chyby metody a chyb měřících přístrojů. Chybu metody lze vyloučit provedením opravy na vlastní spotřebu s použitím výše uvedených vzorců.

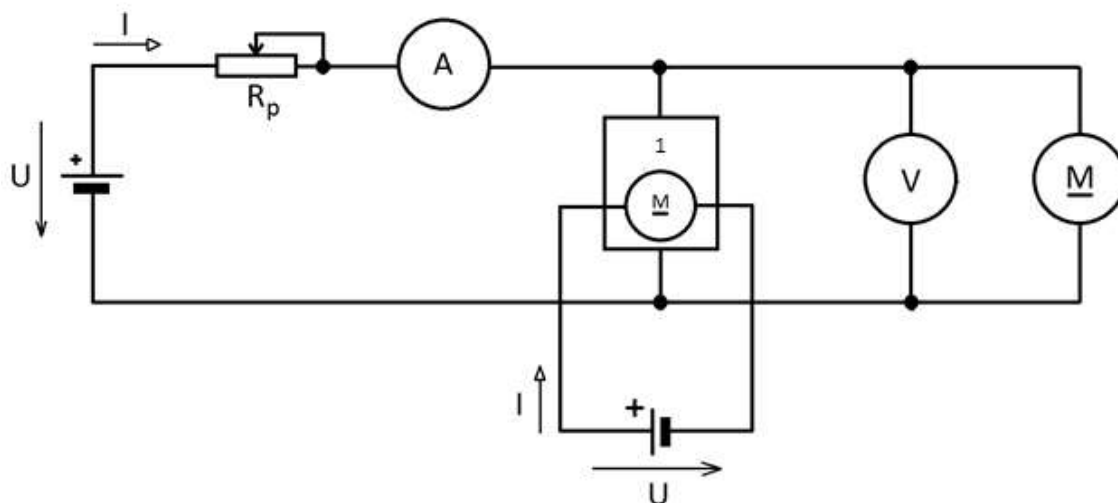
Uvažujeme tedy pouze chybu měřících přístrojů, kterou určíme podle pravidel pro chyby nepřímých měření:

$$\text{Relativní chyba} \quad \delta_R = (\delta_U + \delta_I) * 100 = \left(\frac{\Delta_U}{U_x} + \frac{\Delta_I}{I_x} \right) * 100 \quad [\%],$$

$$\text{Absolutní chyba} \quad \Delta_R = R_x * \delta_R = R_x * \left(\frac{\Delta_U}{U_x} + \frac{\Delta_I}{I_x} \right) \quad [\Omega],$$

$$\text{kde} \quad \Delta_U = \frac{M_U * TP}{100} [V] \quad \Delta_I = \frac{M_I * TP}{100} [A]$$

Na Obr. 2.3.3.1 je uvedeno schéma zapojení měřícího pracoviště s využitím Ohmovy metody měření malých odporů



Obr. 2.3-1 Schéma zapojení měřícího pracoviště – Ohmova metoda měření malých odporů

Legenda: 1 – otočný rám s kroužkostrojem
 R_p – Posuvný odpor, reostat

2.3.4 Degradací činitelé přenosu signálu v kroužkostroji

Ve druhé části analýzy kluzného kontaktu jsme se zaměřili na rušivé elementy, tzv. degradační činitele, které značně znehodnocují kvalitu přenášeného signálu ze statické na rotační část kluzného kontaktu kroužkostroje.

Vlivem těchto činitelů dochází k výpadkům ethernetové sítě, ke ztrátám dat, ke ztrátám obrazu přenášeného videosignálu, apod. Mezi nejzásadnější patří přeslechy mezi jednotlivými vodiči (tzv. CrossTalky z angl.), dále pak útlum signálu a v neposlední řadě i kapacitní vazby mezi jednotlivými vodiči.

V naší práci jsme se zaměřili na měření přeslechů na blízkém konci vodiče (z angl. NEXT, NearEndCrossTalk) a přeslechy na vzdáleném konci vodiče (z angl. FEXT, FarEndCrossTalk). Postup měření je popsán v kapitole 4.

2.4 Měřicí přípravek na měření proudového zatížení kluzného kontaktu kroužkостrojů

Pro měření vlivu proudového zatížení na kluzný kontakt kartáč-kroužek bylo nutné sestavit speciální měřicí přípravek. Zhotovení bylo provedeno z důvodu nasimulování skutečné situace, ve které jsou kroužkостroje provozovány.

Přípravek zahrnuje železnou základnu s kolejnicí, do které jsou pomocí matic přišroubovány dva držáky, osazené destičkami pro uchycení dvojice kartáčů pro přídavný kluzný kontakt.

Přídavný kluzný kontakt je zkonstruován ze sběracích kroužků alternátorů, za účelem zajištění přenosu elektrického proudu ze zdrojů konstantního proudu (statické části) do rotační části zařízení (manipulátoru MSO-2/A), konkrétně stejnosměrného motorku MAXON a samotného kroužkостroje.

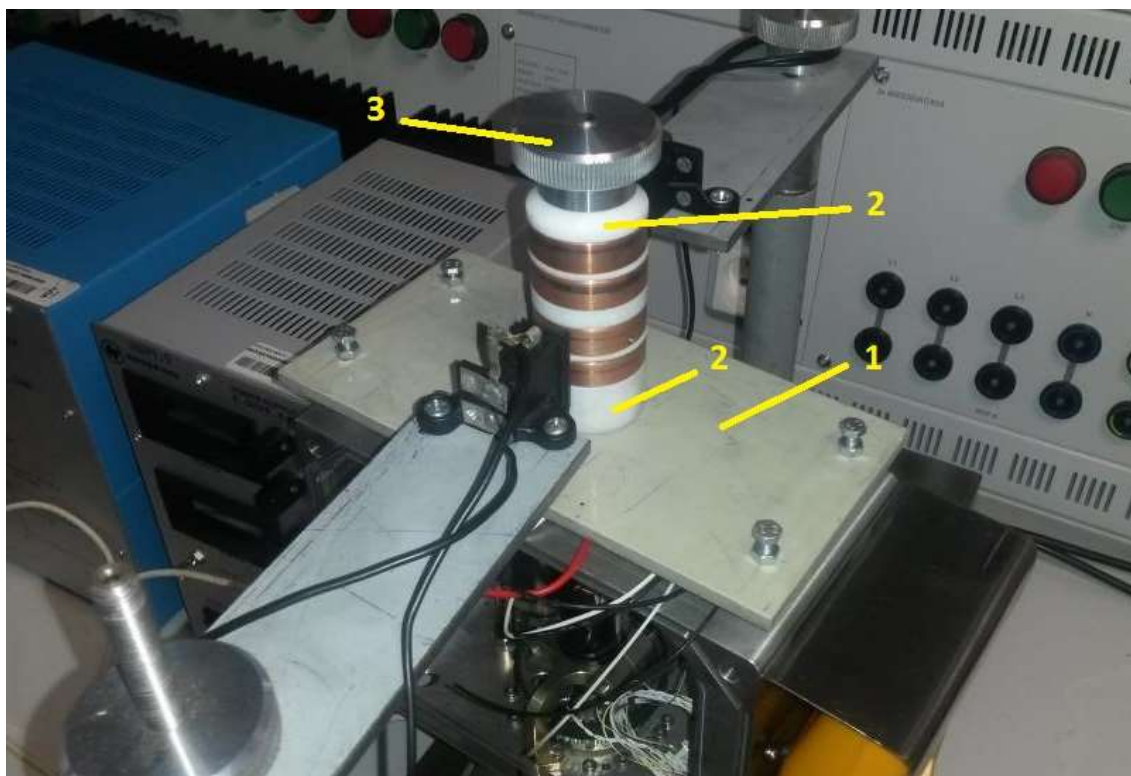
Samotný manipulátor MSO-2/A je uchycen uprostřed kolejnice základny taktéž dvěma šrouby, jako je tomu u držáků kartáčů.

Na horní části manipulátoru je přišroubována pomocí čtyř šroubů plastová destička, nesoucí čtveřici sběracích kroužků. Na pravé straně manipulátoru je přišroubován držák digitálního multimetru, ke snímání úbytku napětí, za současného otáčení manipulátoru.



Obr. 2.4-1 Měřicí pracoviště pro měření proudového zatížení kroužkостroje

- Legenda:
- 1 – Železná základna s kolejnicí
 - 2 – Držáky kartáčů kluzného kontaktu
 - 3 – Železné destičky pro uchycení kartáčů
 - 4 – Kartáče
 - 5 – Manipulátor MSO 2/A
 - 6 – Sběrací kroužky kluzného kontaktu
 - 7 – Držák digitálního multimetru



Obr. 2.4-2 Detail sběracího ústrojí měřícího přípravku

- Legenda:
- 1 – Plastová destička k uchycení sběracích kroužků
 - 2 – Teflonová izolace mezi sběracími kroužky
 - 3 – Šroub k uchycení sestavy kroužků s teflonovou izolací

Další obrázky sestrojeného měřícího přípravku pro měření vlivu zatěžovacího proudu na kluzný kontakt kroužkostroje a celkový pohled na měřící pracoviště s měřícím přípravkem, byly zařazeny do Přílohy 1

3 KVALITA PŘENOSU SIGNÁLU ZE STACIONÁRNÍ NA ROTAČNÍ ČÁST KLUZNÉHO KONTAKTU

Pro posouzení kvality přenosu signálu v kroužkostroji bude obsahem této části diplomové práce, měření kritických parametrů kabelů kroužkostrojů, jenž jsou využívány k přenosu videosignálů do průmyslových kamer typu CCD TV. Avšak dříve, než provedeme měření na kluzném kontaktu kroužkostroje, bude nutné provést analýzu samotného, dle platných norem standardizovaného a používaného, datového kabelu pro počítačové sítě. Tahle analýza pro nás bude výchozí pro následné porovnání a vyhodnocení naměřených hodnot zkoumaného kroužkostroje.

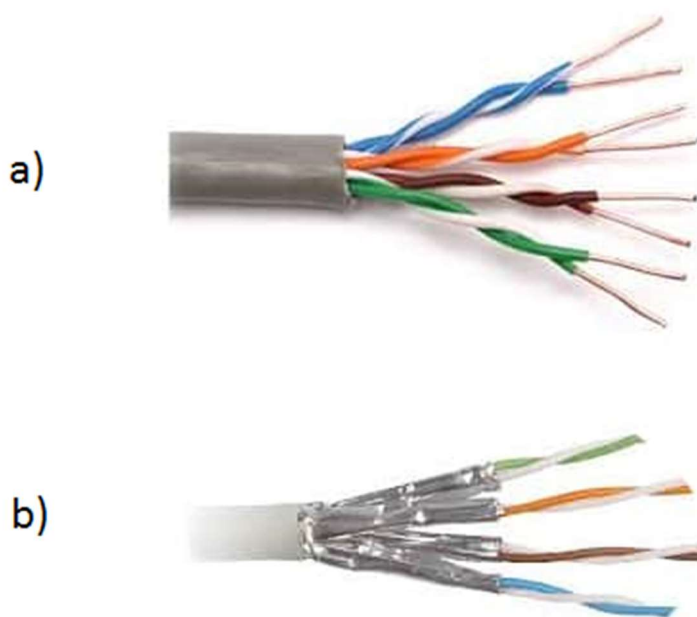
Výstupem bude na základě provedených měření, posouzení skutečného stavu používaných a zcela nových kroužkostrojů výrobců MOOG a PENLINK.

3.1 Kabel kategorie 5, 5e (CAT5, 5e)

Pro přenos dat a videosignálů je v kroužkostrojích použit kabel kategorie 5 a 5e. Tento typ kabelu využívá pro přenos signálu kroucenou dvojlinku. Standardně se používá ve strukturované kabeláži jako Ethernet pro počítačové sítě. Přenáší frekvenci až do 100 MHz a je proto vhodný pro použití Ethernetu typu 10BASE-T, 100BASE-T (Fast Ethernet) a 1000BASE-T (Gigabit Ethernet). Kromě výše uvedeného použití v počítačových sítích lze kabel použít pro přenos telefonního signálu a videa.

3.1.1 Kroucená dvojlinka a její provedení

Kroucené páry jsou ve většině aplikací nestíněné, tzv. UTP (Unshielded Twisted Pair), které díky svým vlastnostem (každý ze čtyř párů je kroucen, má jinou stoupavost, mírně jinak) eliminují vlivy okolního elektromagnetického rušení (viz další odstavec). Ve speciálních případech (v blízkosti velkých zdrojů rušení – elektromotory, vedení vysokého napětí, apod.), je možné nasadit i stíněné kroucené páry, tzv. STP (Shielded Twisted Pair), které mají mezi páry a vnějším pláštěm celistvý hliníkový obal, který se na koncích uzemní pomocí speciálních konektorů a tím se zamezí vniknutí rušení.



Obr. 3.1-1 Datový kabel kategorie CAT5e UTP/STP

Legenda: a) Nestíněný kabel CAT5e UTP
 b) Stíněný kabel CAT5e STP

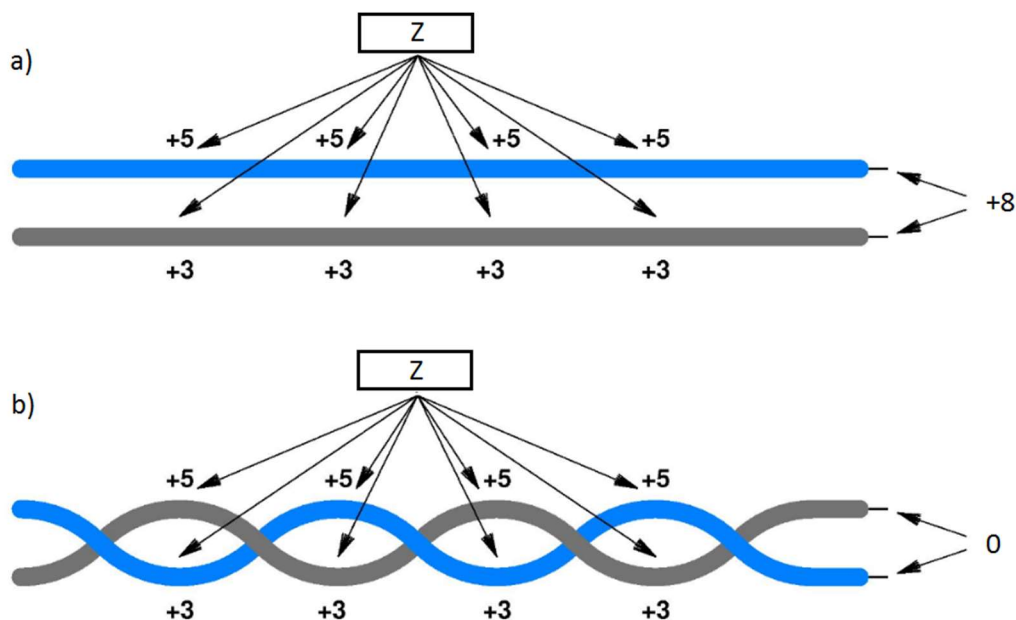
3.1.2 Důvod kroucení vodičů

Kroucení vodičů přispívá ke zlepšení elektrických vlastností kabelu. Minimalizují se takzvané přeslechy mezi páry a snižuje se interakce mezi dvojlinkou a jejím okolím (je omezeno vyzařování elektromagnetického záření do okolí i jeho příjem z okolí).

Vychází se z principu elektromagnetické indukce, kdy se dva souběžně vedoucí vodiče chovají jako anténa. Pokud je jimi přenášen střídavý signál, vyzařují do svého okolí elektromagnetické vlny. Konkrétní efekt takového vyzařování samozřejmě závisí na mnoha faktorech (frekvenci signálu, fyzickém provedení souběžných vodičů, atd.), ale při přenosových rychlostech dnešních počítačových sítí efekt vyzařování není zdaleka zanedbatelný.

Efekt „vyzařující antény“ lze výrazně snížit tím, že se oba vodiče pravidelně zkroutí. Vyzařování se tím sice neodstraní úplně, ale sníží se na takovou míru, která již může být přijatelně nízká (neovlivňuje jiná zařízení či jiné přenosové cesty). V praxi ovšem může záležet na konkrétních fyzických dispozicích a dalších požadavcích, ale i na normách i legislativních úpravách, a výsledná míra vyzařování kroucené dvojlinky bez dalšího stínění může být stále ještě příliš vysoká.

Potom musí být místo nestíněné kroucené dvojlinky (UTP), použita stíněná kroucená dvojlinka (STP), která díky svému stínění vykazuje nižší míru vyzařování (viz předchozí odstavec).



Obr. 3.1-2 Vliv nežádoucího elektromagnetického záření na rovné vodiče a na kroucenou dvojlinku

Legenda: a) Rovné vodiče
b) Kroucená dvojlinka
Z – Zdroj rušení

Pozn.: Zvláštností kroucené dvojlinky je to, že se na ní nesmějí dělat odbočky, jako je tomu u kabelů koaxiálních, proto je použitelná pouze pro dvoubodový spoj a díky svým obvodovým vlastnostem je omezená na maximální přípustnou délku 100 metrů. Avšak topologie Ethernetové sítě vyžadují mnohdy rozbočení linky, proto se využívá elektronických rozbočovačů, tzv. „Hubů“ (z angl. Hub-rozbočovač).

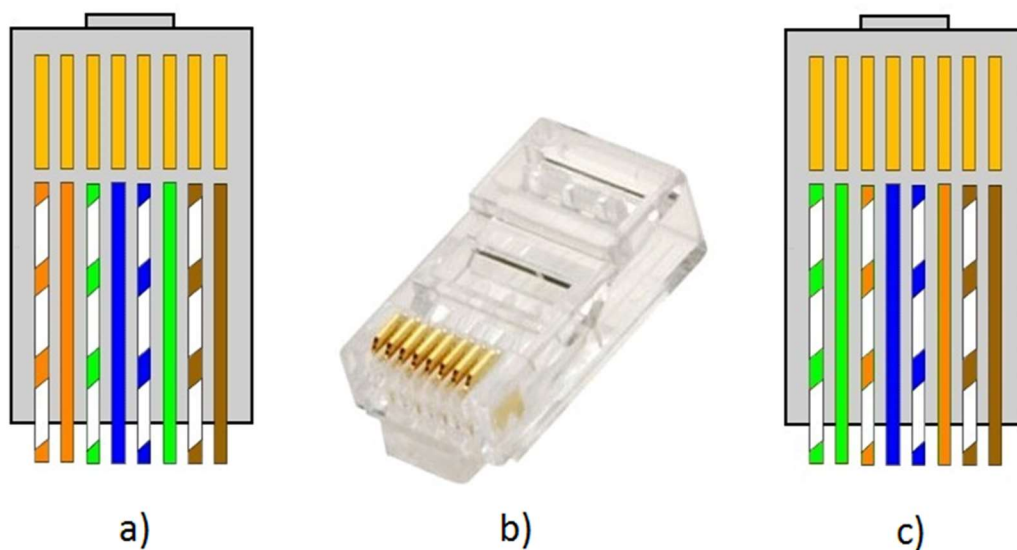
3.2 Standardy kabelu kategorie 5

Specifikace pro kabel kategorie 5 je definována v normě ANSI/TIA/EIA-568-A, v oddílu TSB-95. Tyto normy vymezují charakteristiky a zkušební požadavky na kabel pro frekvence až 100 MHz. Druhy kabelů, konektorů a topologie kabeláže potom definuje norma TIA/EIA-568-B. Pro připojení kabelů kategorie 5 se téměř vždy používají modulární konektory 8P8C, známé jako RJ-45.

Kabely se do konektoru zapojují podle schémat T568A a T568B. Obě dvě schémata fungují stejně (schéma T568-B má malou výhodu, je lepší než T568-A v tzv. NEXT Near End Cross Talk – přeslechu mezi vodiči kroucené dvojlinky na jejích koncích) a dají se použít v rámci stejné sítě, avšak na obou koncích musí být vždy použito totožné schéma zapojení.

Kabel kategorie 5 obsahuje čtyři páry vodičů, z nichž každý má jiný (ale přesně daný) počet zákrutů na metr kvůli minimalizaci tzv. přeslechů mezi jednotlivými páry. I přesto, že kabely běžně obsahují pouze čtyři páry, specifikace kategorie 5 toto množství přesně nevymezuje. Například v páteřních sítích se používají kabely až o 100 párech. Toto využití symetrického vedení signálu zaručuje jak vysokou odolnost proti rušení z okolních zdrojů rušení, tak minimalizaci přeslechů mezi jednotlivými páry.

Kabel se vyrábí ve formě s laněnými (licna) nebo plnými (drát) vodiči. V laněné formě je kabel pružnější a vydrží více ohýbání. Vodiče s plným jádrem se používají zejména v rozvodech strukturované kabeláže (propojení zásuvky na zdi s patch panelem), laněné vodiče se pak používají spíše pro připojení jednotlivých počítačů k Ethernetovým zásuvkám. Většinu kabelů kategorie 5 lze bezpečně ohýbat v poloměru přibližně čtyřikrát převyšujícím vnější průměr kabelu.



Obr. 3.2-1 Konektor RJ45 pro kabel CAT5e a jeho normované zapojení

- Legenda:
- a) Standardní zapojení T568A
 - b) Konektor RJ45/8P8C
 - c) Křížené zapojení T568B

3.3 Charakteristické parametry kabelu CAT5e UTP

Tabulka 3.3.1 Elektrické vlastnosti kabelu CAT5e UTP

Vlastnost	Jmenovitá hodnota	Odchylka	Jednotka
Charakteristická impedance při 100MHz	100	±15	Ω
Jmenovitá charakteristická impedance při 100MHz	100	±5	Ω
Stejnoseměrný odpor smyčky	≤0,188		Ω/m
Rychlost šíření	0,64		C
Zpoždění šíření signálu	4,80 – 5,30		ns/m
Skupinové zpoždění signálu <100MHz	<0,20		ns/m
Kapacita při 800 Hz	52		pF/m
Indukčnost	525		nH/m
Mezní kmitočet	≤57		kHz
Maximální namáhání při instalaci	100		N
Průměr drátu	0,5104; 0,205		mm; mm ²
Tloušťka izolace	0,245		Mm
Maximální proud na vodič	0,577		A
Provozní teplota	-55 až +60		°C
Maximální provozní napětí	125		V

Tabulka 3.3.2 Příklady používaných izolačních materiálů

Zkratka	Materiál
PVC	Polyvinylchlorid
PE	Polyethylen
PE	Pěnový polyethylen
PTFE	Teflon/Polytetrafluorethylen

Pozn.: Vnější izolace je typicky z PVC nebo LSOH (nizkodýmavý a bezhlogenní plášť v případě vznícení)

3.4 Odolnost kabelu vůči okolnímu prostředí

Některé kabely jsou odolné vůči UV záření, takže mu mohou být vystaveny bez rizika jejich poškození. Jako potahová vrstva se obvykle používá PVC. Každý kabel se vzduchovou výplní může ve vlhkém prostředí nasávat vlhkost, především, pokud je kabel veden mezi interiérem a exteriérem. Teplý a vlhký vzduch může uvnitř chladnějších částí kabelu ve venkovním prostředí způsobovat kondenzaci. Tomu je nutno předejít například utěsněním konců kabelu. Některé kabely jsou vhodné pro přímé uložení do země, to však vyžaduje, aby byl kabel vyplněn gelem a tak se zabránilo pronikání vlhkosti.

Při použití kabelu ve stožárech nebo věžích je třeba věnovat zvýšenou pozornost vertikálnímu vedení kabelů tak, aby nedošlo k průsaku vody do citlivého zařízení po kabelu. Tomu lze předejít vytvořením prověšení v dolní části kabelu.

Existují i opláštěné kabely pro použití například ve stropních podhledech, které se pomaleji zahřívají a při hoření produkují méně kouře než kabely potažené PVC. To se rovněž promítá do nároků na přítomnost automatického hasicího systému, který tak již nemusí být zapotřebí.

V prostředí, v němž se nachází zařízení vysílající radiové vlny a v němž může docházet k elektromagnetickému rušení, je vhodné používat stíněné kabely (FTP/STP). Tyto kabely se dají použít také na místech, kde je potřeba snížit riziko odposlechu.

3.5 Datové vodiče v kroužkostroji

Uspořádání vodičů v kroužkostroji vychází z připojení ke kluznému kontaktu, ve kterém je každý vodič z nepohyblivé (stacionární) části připojen na sběrací kroužek a vodič na straně pohyblivé (rotační) je spojen s kartáčem, odpovídajícím danému kroužku. Z důvodu použití kroužkostroje v mnoha technických aplikacích, jsou výrobcem jeho jednotlivé vodiče vyvedeny ve svazcích na obou stranách kroužkostroje, tedy statorové i rotorové.

Dle konkrétních potřeb uživatele jsou poté jednotlivé vodiče upravovány k dalšímu využití. V případě námi zkoumaného kroužkostroje je z celkových dvaceti čtyř, využito osmi vodičů k sestrojení čtyř dvojlinek potřebných pro Ethernetový kabel. Je zde dodrženo barevné značení kabelů dle platných norem a tyto jsou připojeny ke konektoru RJ45.

Samotný kroužkostroj může svým provedením, představovat pro kvalitu přenášeného ethernetového signálu jistá úskalí. Prvním z nich je nutné rozpletení čtyř párů ethernetového kabelu z důvodu zapojení ke sběracím kroužkům a kartáčům kluzného kontaktu.

V tom případě je nutně porušena podmínka kroucení vodičů dvojlinky a může dojít ke vniku rušení mezi jednotlivými vodiči. Další potíže s kvalitou ethernetového signálu mohou nastat vlivem elektromagnetického rušení od přítomných silových (napájecích) vodičů v kroužkostroji, jež jsou vedeny těsné blízkosti vodičů datových.

Obě výše uvedené skutečnosti se jednotliví výrobci kroužkostrojů snaží řešit inovačními procesy technologie výroby, použitím vhodnějších materiálů, se snahou nabídnout koncovému uživateli ty nejkvalitnější produkty. Pro samotný postup při výběru a testování kroužkostrojů, vhodných pro ethernetové aplikace, vydala mezinárodní komise pro standardizaci, normu IEEE 802.3, kde v oddíle 40.7 uvádí doporučené postupy které jsou vhodné pro změření důležitých parametrů kroužkostroje a jeho volbu pro konkrétní aplikace.

3.6 Metody výběru vhodného kroužkostroje pro různé aplikace gigabitového Ethernetu dle normy IEEE 802.3

Metoda č.1: Připojte sto metrů kabelu CAT5e, CAT6 nebo CAT6e ke kluznému kontaktu kroužkostroje. Poté jej vyzkoušejte na testovacím zařízení GigE, které vrátí zprávu úspěšném či neúspěšném testu a poskytne údaje o všech parametrech požadovaných mezinárodní normou TIA/EIA 568.

Tato metoda poskytuje ve výsledku prakticky pouze údaje o účincích samotného stometrového kabelu, kde se v podstatě vliv kluzného kontaktu na parametry samotného kabelu téměř neprojeví. Mezi normou IEEE 802.3 a kabelovou normou TIA/EIA 568 však existují malé rozdíly mezi přípustnými hodnotami, kdy v případě nasazení vysoce výkonného kroužkostroje může dojít ke stlačení parametrů

pod přípustnou mez. Tato specifikace výrazně ovlivňuje velikost, složitost a flexibilitu kroužkostrojů a jiného nestandardního hardwaru [8].

Metoda č.2: Připojte kluzný kontakt do libovolné části stometrového kabelu a otestujte ho na standardizovaném GigE testeru. Data by měla být normalizována na útlum kabelu o délce 100 metrů, protože poměr signálu k šumu je typickým kritickým parametrem kabelu. Tato metoda v podstatě rozděluje odpovídající délku kabelu na kroužkostroj. Například pokud instalace sítě Ethernet vyžaduje pouze 20 metrů kabelu, testuje se kroužkostroj s touto délkou kabelu. Tester je poté vyhodnocuje společně proti požadavku na 100 metrů kabelu, takže kluzný kontakt v podstatě ovlivňuje síť stejně jako 80 metrů kabelu. Kabelová norma ANSI/TIA/EIA 568 a norma pro Ethernet IEEE 802.3 jsou ve své podstatě velice konzervativní, z toho důvodu není nutné přidávat bezpečnostní faktor, z hlediska tlumení v podobě větší délky kabelu v tomto testu.

Kromě toho je k definování parametrů kabelu i kroužkostroje, doporučeno použití kabelu CAT5e, nikoliv CAT6 a CAT6e, z důvodu snižování flexibility využití kroužkostrojů, v každém konkrétním návrhu. Kabel CAT5e se doporučuje na základě nejbližší specifikace měřených parametrů s normou IEEE 802.3 [8].

Metoda č.3: Vypracujte „rozpočet na ztrátu a šum“ vlastního systému a porovnejte ho s Ethernetovým standardem nebo s parametry vysílače a přijímače samotného systému. Tato metoda je nejužitečnější v případech, kdy se charakteristické parametry navrhované sítě, značně liší od stanovených parametrů IEEE 802.3. Vlastní „rozpočet sítě“ lze definovat pomocí hodnot kabelových norem, konektorových norem, publikovaných specifikací kroužkostroje, a specifikací pro Ethernetový přijímač a vysílač. Poté lze použít kreativní řešení pro přizpůsobení přítomnosti kroužkostroje. Například použití kabelu CAT6 namísto CAT5e pro snížení ztráty a šumu. Tento postup poskytuje největší flexibilitu při výběru kroužkostroje pro dosažení co nejlepšího výkonu [8].

3.7 Výkonové parametry ovlivňující kvalitu Ethernetového signálu

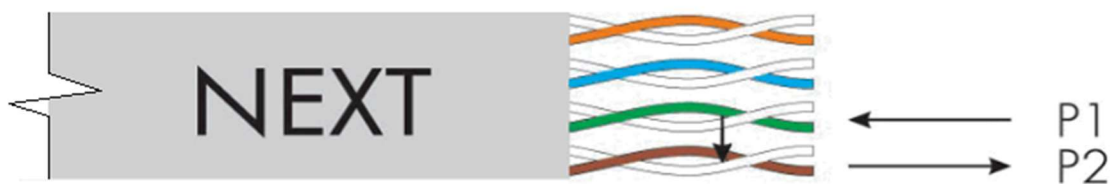
Měření výkonových parametrů má pro správnou funkčnost strukturované kabeláže zásadní význam. Certifikační přístroje dokáží určit, zda jsou u nainstalovaných komponent splněny všechny požadavky definované v mezinárodních standardech.

3.7.1 Wire map (mapa zapojení)

Tento základní parametr kontroluje správnost zapojení jednotlivých párů v zásuvce nebo patch kabelu, a to včetně propojení stínění u STp kabeláže. Rovněž kontroluje průchodnost signálu po celé délce kabelu – tj. dokáže upozornit na přerušení některého z vodičů, popř. detekovat jejich zkrat. Parametr Wire Map je velmi důležitý, ale sám o sobě nedokáže zajistit bezchybnou funkčnost instalované počítačové sítě. Ke změření správnosti mapy zapojení postačí i velmi jednoduchý měřicí přístroj.

3.7.2 NEXT (přeslech signálu na blízkém konci)

NEXT (Near End Cross Talk) je hodnota, která vyjadřuje, kolik rušivého signálu se dostává z jednoho páru do jiného páru. Měření přeslechu na blízkém konci probíhá na stejném konci kabelu jako je umístění zdroje signálu. U tohoto parametru se měří všechny kombinace párů v rámci jednoho kabelu – tj. šest měření. – a to na obou jeho koncích.



Obr. 3.7-1 Přeslech signálu na blízkém konci, tzv. NEXT [5]

Legenda: P1 – Vyslaný signál do jednoho páru
P2 – Přeslech rušivého signálu na druhém páru

3.7.3 Attenuation (útlum)

Útlum udává rozdíl mezi velikostí vstupního signálu a velikostí signálu na konci vodiče. Je způsoben především odporem, který vodič klade přenášenému signálu a bývá větší pro vyšší frekvence. Útlum roste se zmenšováním průřezu kabelu, tzn. kabel s velikostí AWG24 má o něco větší útlum než silnější kabel s velikostí AWG23.



Obr. 3.7-2 Útlum signálu měřený na kroucených párech kabelu CAT5e [5]

Legenda: P1 – Velikost vstupního signálu
P2 – Velikost signálu na konci vodiče

3.7.4 FEXT (přeslech signálu na vzdáleném konci)

FEXT (Far End Cross Talk) vyjadřuje přeslech signálu z jednoho páru na druhý měřený na vzdáleném konci. Je to stejný parametr jako NEXT jen s tím rozdílem, že v případě FEXTu probíhá měření přeslechu na rozdílných koncích kabelu. Opět se měří všechny kombinace párů v rámci jednoho kabelu.



Obr. 3.7-3 Přeslech signálu na vzdáleném konci kabelu, tzv. FEXT [5]

Legenda: P1 – Zdroj signálu
P2 – Přeslech signálu na vzdáleném konci druhého páru

AXT (Alien-Cross-Talk-cizí přeslech) – jedná se o elektromagnetický šum, který se může vyskytnout v kabelu, který je veden podél jednoho nebo více kabelů, nesoucí signál. Termín „cizí“ vyplývá ze skutečnosti, že k této formě přeslechu dochází mezi jednotlivými kabely ve skupině nebo svazku spíše, než mezi jednotlivými dráty nebo obvody uvnitř jednoho kabelu.

3.8 Vektorový obvodový analyzátor ENA E5071C

Diagnostiku ethernetového kabelu CAT5e a datového kabelu kroužkostroje provedeme pomocí analyzátoru ENA E5071C, který je vhodný pro měření charakteristických výkonových parametrů datových kabelů, uvedených v kapitole 3.7.

Jedná se o měřicí přístroj, pomocí kterého je možné editovat toleranční masku, zobrazení kmitočtové a časové domény spolu s tzv. „Diagramem oka“, a to pomocí přednastavených masek ethernetové sítě (10BASE-T, 100BASE-TX, 1000BASE-T a dalších) a taktéž podle konkrétních požadavků měřitele. Měřicí přístroj je kalibrován vlastním kalibračním členem, součástí je i automatická kompenzace vlivu přívodních kabelů k měřenému objektu. Přístroj nabízí lokalizaci zdroje ztrát, odrazů apod. současnou analýzou v časové i kmitočtové oblasti.



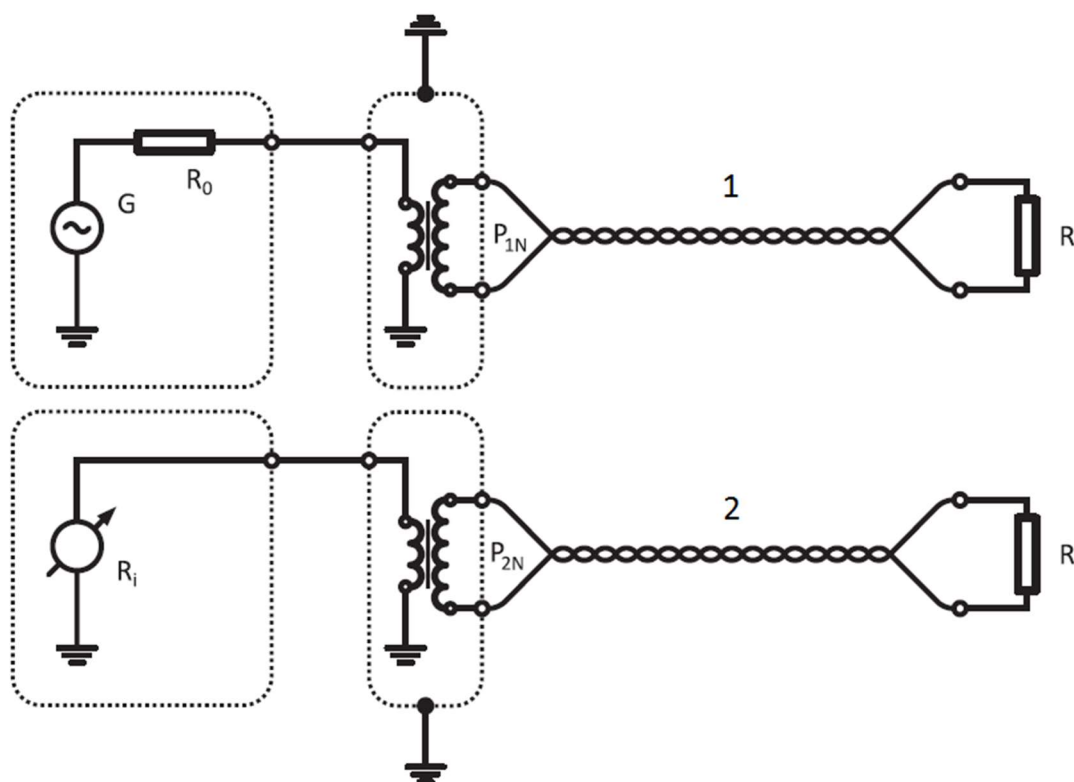
Obr. 3.8-1 Vektorový obvodový analyzátor ENA E5071C

3.8.1 Měření výkonových parametrů NEXT a FEXT ethernetového kabelu CT5e UTP

NEXT-Ethernetový kabel CAT5e UTP zkrátíme na stejnou délku vodičů kroužkostroje. Poté jednotlivé páry kabelu na koncích rozpleteme a každý vodič zvlášť připojíme k jednomu SMA konektoru. To vše pouze na jedné straně kabelu. Druhé konce párů kabelu zakončíme vždy v každém páru odporem 100 Ohmů, z důvodu impedančního přizpůsobení symetrického vedení, jenž má charakteristický odpor právě 100 Ohmů.

SMA konektory jsou připájeny k měděné obdélníkové destičce v řadě vedle sebe, na které se v průběhu měření střídavě připojují přívodní koaxiální kabely jednotlivých portů analyzátoru, dle aktuální kombinace měřených párů kabelu mezi sebou. Poté vybereme předdefinovanou digitální masku ethernetové sítě, ve které je nadefinován její charakteristický signál, připojíme měřící porty ke konektorům a analyzátor provede měření připojených párů.

Vykreslené grafy na displeji měřícího přístroje a naměřená data měřeného kabelu uložíme na USB flash disk pro pozdější vyhodnocení.



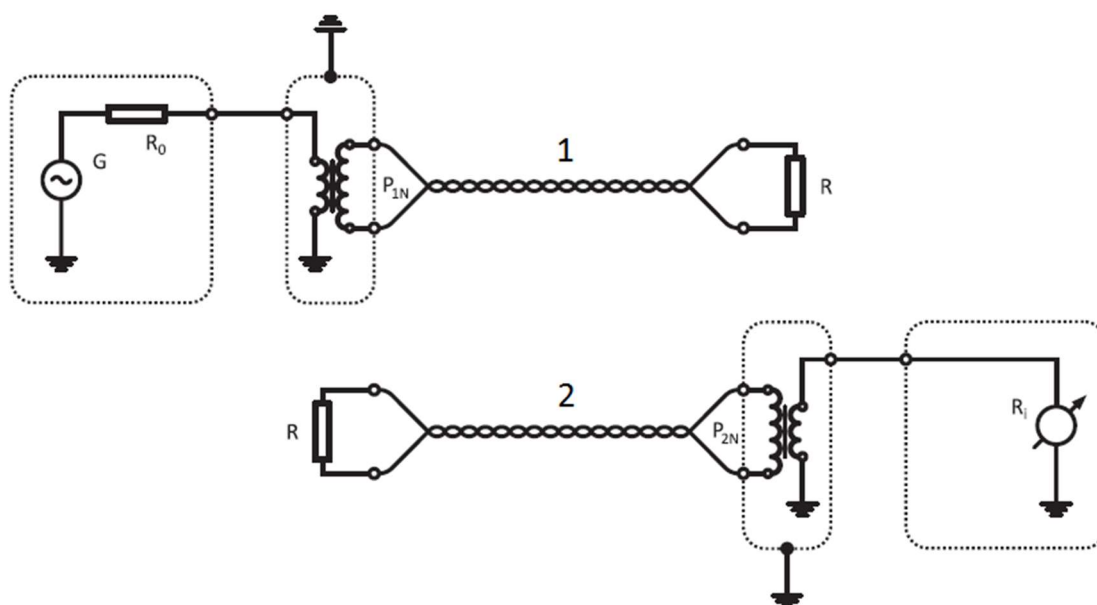
Obr. 3.8-2 Schéma zapojení pro měření útlumu přeslechu na blízkém konci NEXT

Legenda: P_{1N} – Vstupní výkon do rušícího páru
 P_{2N} – Výstupní výkon z rušeného páru na blízkém konci
 1 – Rušící pár
 2 – Rušený pár

FEXT – Při měření přeslechu signálu na vzdáleném konci, využijeme dvě měděné destičky, osazené dvojicemi SMA konektorů. Opět měříme dva páry mezi sebou, způsobem znázorněným na obrázku č.3.7.4.1., kde na obou stranách kabelu jsou vždy vodiče jednoho páru připájeny ke konektorům a zbývající dva vodiče jsou spojeny přírůbovací impedancí 100 ohmů.

Například pár oranžový-bílooranžový je na pravém konci kabelu napájen ke konektorům a na straně levé je tento pár propojený zmiňovanou impedancí. Druhý pár, zelený-zelenobílý je na pravé straně kabelu propojen odporem 100 Ohmů a na straně levé je napájen ke konektorům SMA.

Postup měření a zaznamenávání naměřených údajů je totožný se zánamem přeslechu signálu na blízkém konci NEXT.



Obr. 3.8-3 Schéma zapojení pro měření útlumu přeslechu na vzdáleném konci FEXT

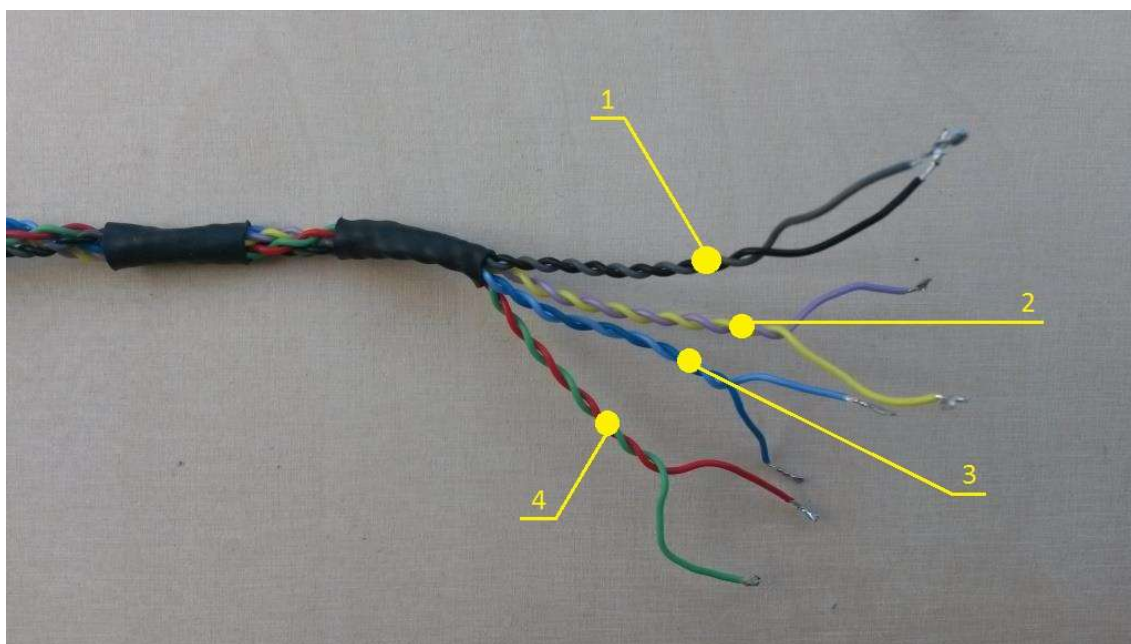
Legenda: P_{1N} – Vstupní výkon do rušícího páru
 P_{2N} – Výstupní výkon do rušeného páru na vzdáleném konci
 1 – Rušící pár
 2 – Rušený pár

3.8.2 Měření výkonových parametrů NEXT a FEXT ethernetového kabelu kroužkostroje

Před vlastním měřením kroužkostroje je nutné provést zkroucení dvojlinek ethernetového kabelu na obou jeho stranách. Aby byl zachován požadavek kabelové normy ANSI TIA/EIA 568, z důvodu dodržení vždy různé stoupavosti jednotlivých kroucených párů, jsou vodiče krouceny ručně. Jednotlivé páry ethernetového kabelu jsou poté vedeny ve svazku a místně opatřeny stahovací páskou.

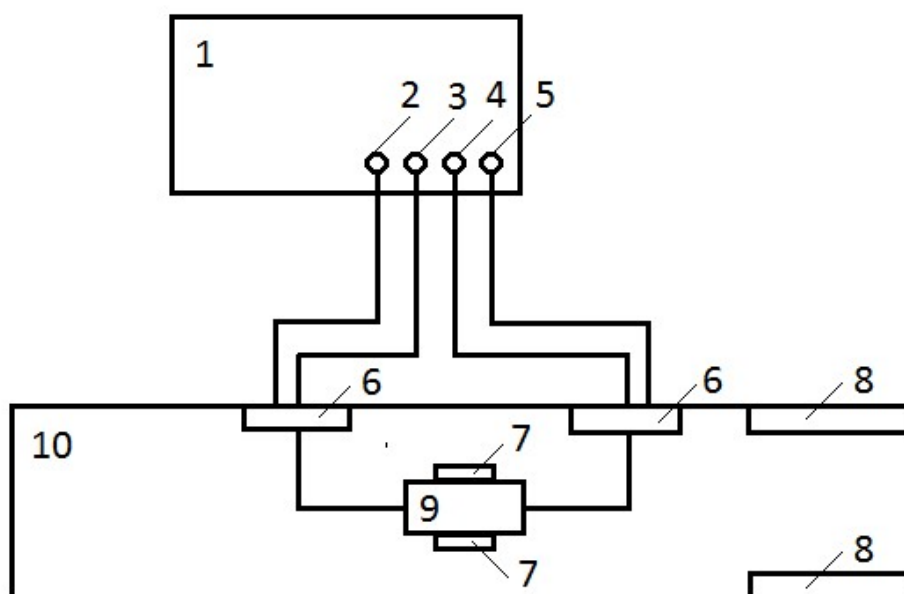
V měřeném kroužkostroji jsou uživatelem pro sestrojení ethernetového kabelu použity odlišné barvy vodičů, jenž se liší od mezinárodního standardu ANSI TIA/EIA 568, avšak stejného průřezu, nikterak neovlivňující vhodnost použití pro přenos datového signálu.

Měření přeslechu signálu na blízkém konci kabelu NEXT, respektive měření přeslechu na vzdáleném konci kabelu FEXT, proběhne stejným způsobem, kterým je prováděno měření těchto parametrů na standardním ethernetovém kabelu CAT5e UTP. Použije se i stejného měřicího přípravku a stejného uspořádání vodičů, jak je uvedeno v kapitole 3.8.1.



Obr. 3.8-4 Provedení ethernetového kabelu kroužkostroje kroucením 4-párů vodičů

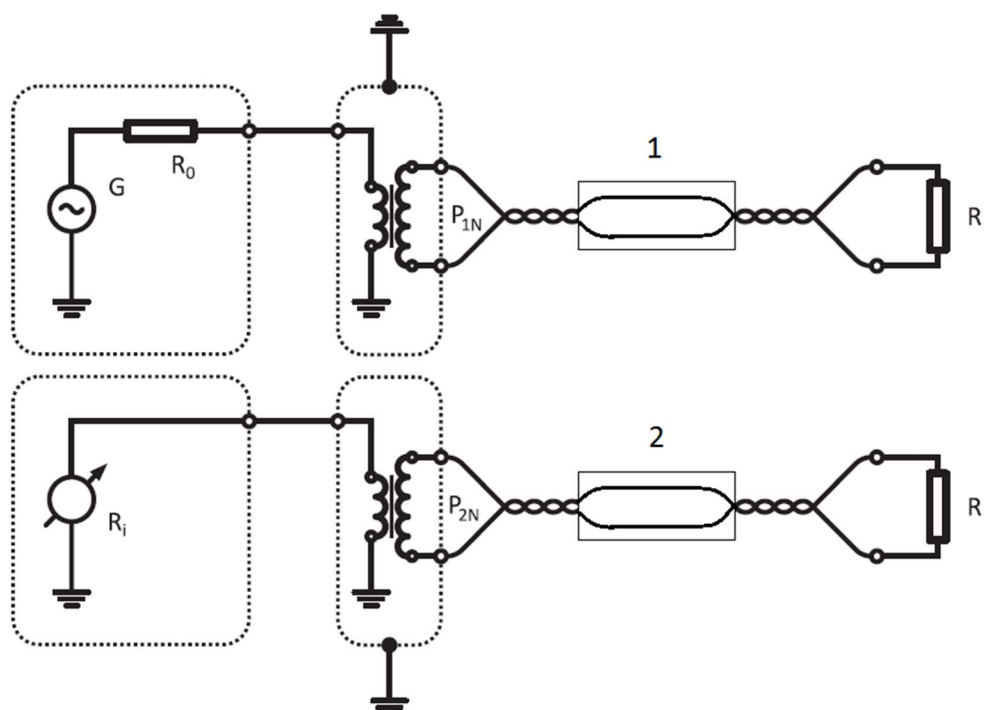
- Legenda:
- 1 – Kroucený pár č.1
 - 2 – kroucený pár č.2
 - 3 – Kroucený pár č.3
 - 4 – Kroucený pár č.4



Obr. 3.8-5 Blokové schéma zapojení pracoviště pro měření NEXT, FEXT

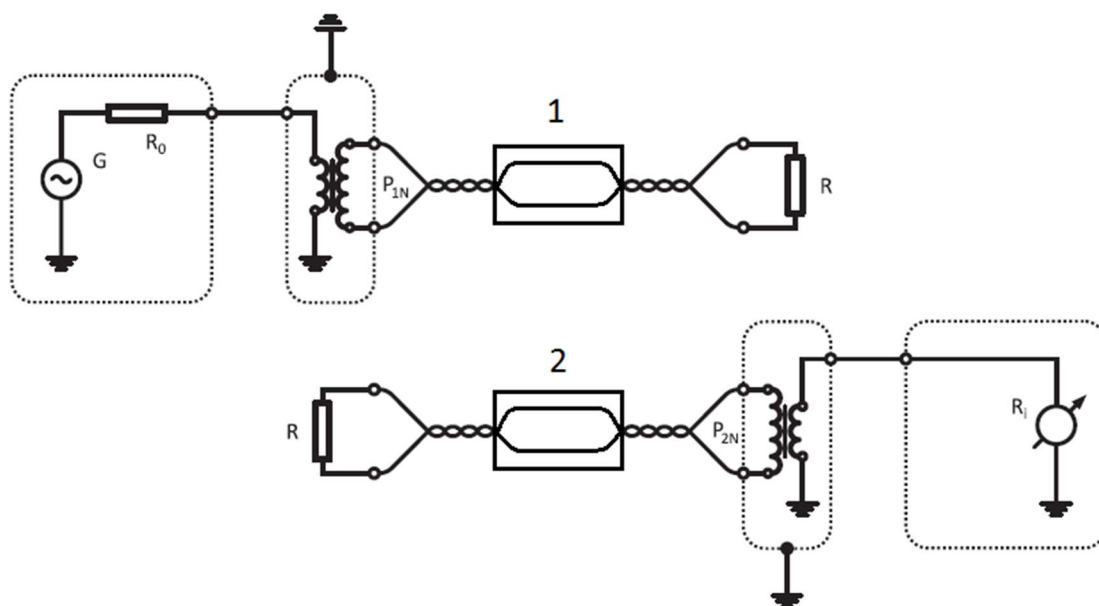
- Legenda:
- 1 – Obvodový analyzátor
 - 2 – Vstupní port č. 1
 - 3 – Výstupní port č. 2
 - 4 – Vstupní port č. 3
 - 5 – Výstupní port č. 4
 - 6 – Měděná destička s napájenými konektory SMA
 - 7 – Uchycení kroužkostroje
 - 8 – Svorkovnice
 - 9 – Kroužkostroj
 - 10 – Základna-deska z dřevěného masivu

Pozn.: Schéma zapojení pro měření přeslechů NEXT a FEXT zůstává stejné, jak je tomu na obrázku č.3.8.1.1 a obrázku č.3.8.1.2 s tím rozdílem, že datová linka je uprostřed vedení rozdělena kluzným kontaktem kroužkostroje a jednotlivé vodiče všech párů jsou vedeny samostatně, v těsné blízkosti na sběrací kroužky na straně rotační a na kartáče na straně statické.



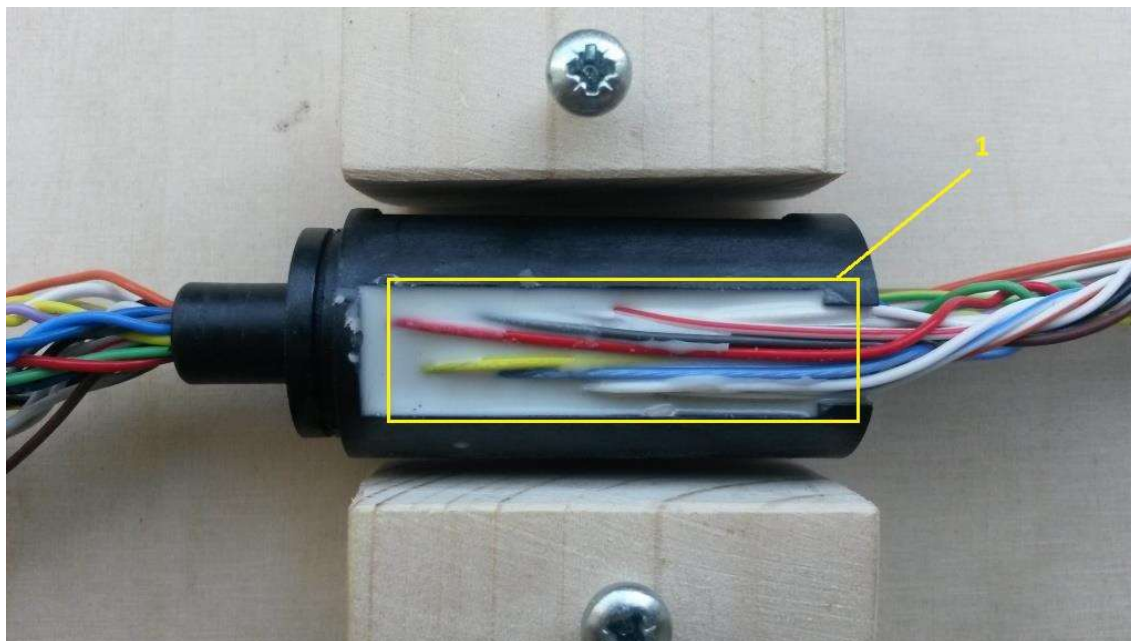
Obr. 3.8-6 Schéma zapojení měření NEXT s kroužkostrojem [6]

Legenda: P_{1N} – Vstupní výkon do rušícího páru
 P_{2N} – Výstupní výkon z rušeného páru na blízkém konci
 1 – Kroužkostroj, rozpojení dvojlinky – rušící pár
 2 – Kroužkostroj, rozpojení dvojlinky – rušený pár



Obr. 3.8-7 Schéma zapojení měření FEXT s kroužkostrojem [6]

Legenda: P_{1N} – Vstupní výkon do rušícího páru
 P_{2N} – Výstupní výkon z rušeného páru na vzdáleném konci
 1 – Kroužkostroj, rozpojení dvojlinky – rušící pár
 2 – Kroužkostroj, rozpojení dvojlinky – rušený pár



Obr. 3.8-8 Rozpletení datových vodičů v kroužkostroji, liché vodiče

Legenda: 1 – Vodiče připojené k lichým kroužkům



Obr. 3.8-9 Rozpletení datových vodičů v kroužkostroji, sudé vodiče

Legenda: 1 – Vodiče připojené k sudým kroužkům



Obr. 3.8-10 Kluzný kontakt kroužkostroje bez ochranného krytu

Pozn.: obrázky č.3.8.2.6; 3.8.2.7.; a 3.8.2.8. jsou zde uvedeny záměrně pro ucelenou představu skutečného zapojení kroužkostroje a vedení vodičů na sběrací soustavu tvořenou kroužky a kartáči.

3.9 Nastavení vstupních parametrů signálu generovaného analyzátozem ENA E5071C

Měření zkoumaného objektu je možné nejdříve po provedení vstupní kalibrace měřícího přístroje, jež se provádí v procesu celého měření jako první. Přístroj disponuje funkcí „Time Domain Function“, tzv. TDR, kde E5071C mění kmitočet vstupního signálu DUT (kalibrační jednotky).

Nejprve musíme provést zapnutí módu TDR, které provedeme po náběhu přístroje tlačítkem Analysis a volbou TDR. Po zapnutí módu je nutný restart firmware, jelikož využívá odlišné softwarové zpracování než standardní ENA. K dispozici je více možností kalibrace a korekcí, ale tzv. „ECal“ poskytuje prakticky nejlepší výsledky. Spuštění TDR současně doprovází i spuštění průvodce nastavením. Dle instrukcí v manuálu se zatržením „full calibration“ dosáhneme nejvyšší přesnosti.

Průvodce se nejprve dotazuje na topologii DUT a její připojení – v našem případě 4port (dvě paralelně vedené dvojlinky zakončené čtyřmi konektory SMA. Poté jsme vyzváni ke kalibraci pomocí automatické kalibrační jednotky „(ECal) – Calibrate“. Úspěšné dokončení kalibrace ohlásí analyzátor akusticky.

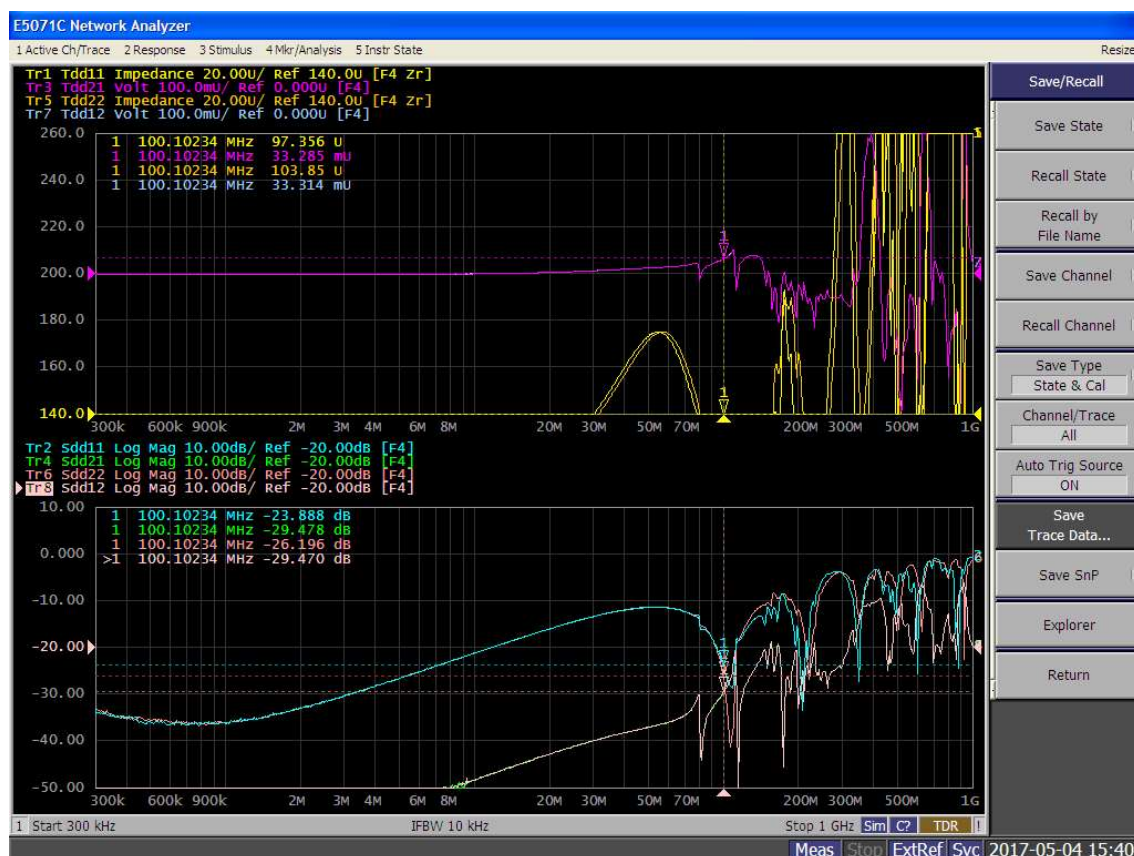
Kabely musí zůstat připojeny a kliknutím na „Fixture Comp“ se provede jejich zahrnutí/kompensace (popřípadě kompenzace celého přípravku, kde jsou kabely připevněny). Poté vyzve k připojení DUT pro získání dalších korekcí. Nakonec lze volit délku náběžné hrany a dokončit nastavení přístroje. Poté se již zobrazí výsledky v časové (oboustranná impedance a odezva přenosu skoku) i kmitočtové oblasti (s11, s22 a přenos s12 a s21).

V dialogovém okně se přepneme na nastavení „Setupu“ a provedeme nastavení napěťové úrovně na 2V. Poté v režimu „Eye/Mask“ nastavíme napěťovou úroveň v diagramu oka, zde však symetricky, tzn. +-1V (One level: 500mV, Zero level: 0mV). Ve volbě „Trace“ vybereme „Tdd21“.

V okénku „Bit pattern“ nastavíme „PRSB“ a libovolnou datovou délku (např. $2^{11}-1$ bits). Aktivujeme kolonku „Scale/Mask“ a klikneme na políčko „Mask pattern“, kde vybereme, popřípadě nadefinujeme vlastní toleranční masku. V našem případě, pro první sérii měření, vybereme 100BASE-TX a ve druhém měření bude tato maska 1000BASE-T. Po provedení nastavení klikneme na tlačítko „Draw mask“ a analyzátořem postupně otestujeme v těchto nastavených maskách náš ethernetový kabel a datový kabel kroužkostroje. Pro vyvolání změřeného přeslechu NEXT či FEXT aktivujeme záložku „TDR/TDT“ a zaznamenejme změřené údaje na USB Flash disk.



Obr. 3.9-1 Nastavení parametrů signálu v záložce „Eye/Mask“



Obr. 3.9-2 Aktivovaná záložka „TDR/TDT“ se změřeným parametrem NEXT

3.10 Vyhodnocení kvality přenosu signálu na kluzném kontaktu

Přenos signálu na kroužkostroji jsme hodnotili dle naměřených hodnot přeslechu na blízkém konci, tzv. NEXT a přeslechu signálu na vzdáleném konci FEXT. Pro názornost naměřených dat a průchodnosti signálu v požadovaných mezích stanovených normou IEEE 802.3 (pro Ethernet 100BASE-TX a Ethernet 1000BASE-T), jsme zaznamenali tzv. diagram oka, na kterém je zřetelně vidět, jak se přenášený signál ze statické na rotační část kluzného kontaktu, chová.

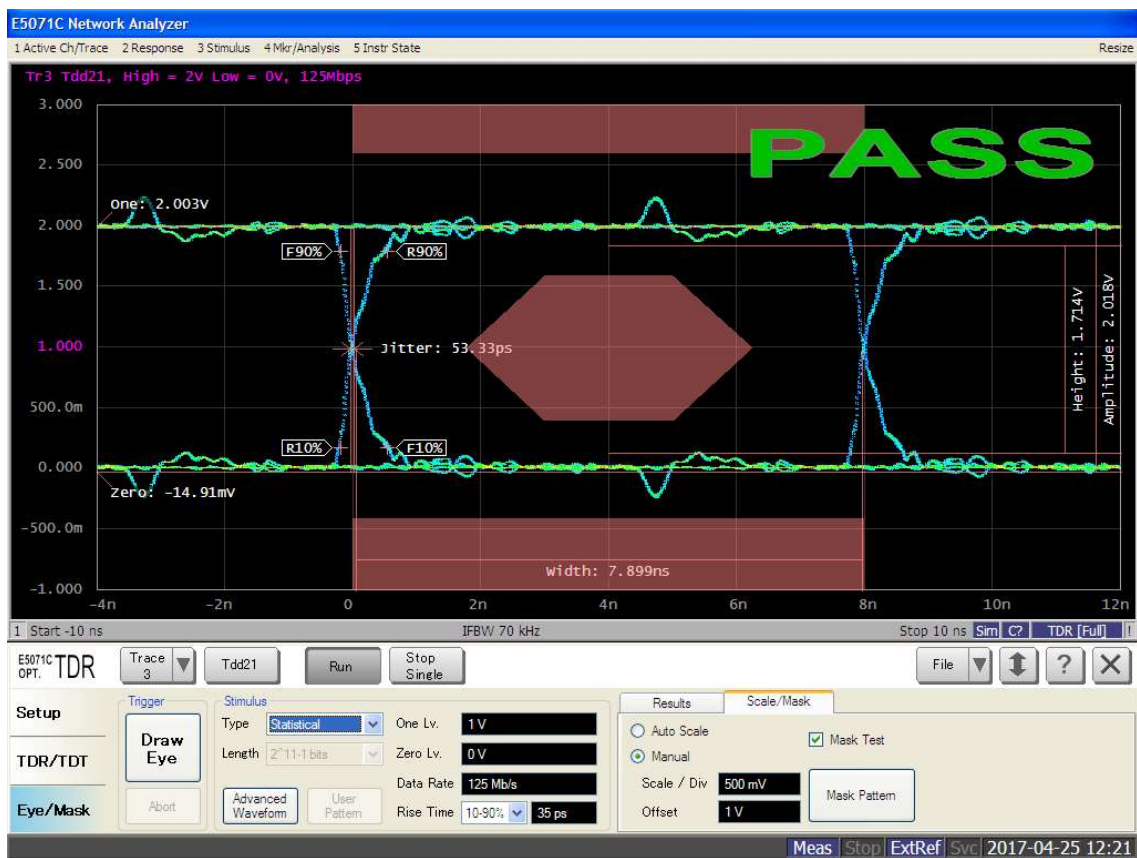
Průběh měření a vyhodnocování je uveden v Příloze 2.

3.10.1 Kvalita přenosu signálu ethernetovým kabelem CAT5e UTP

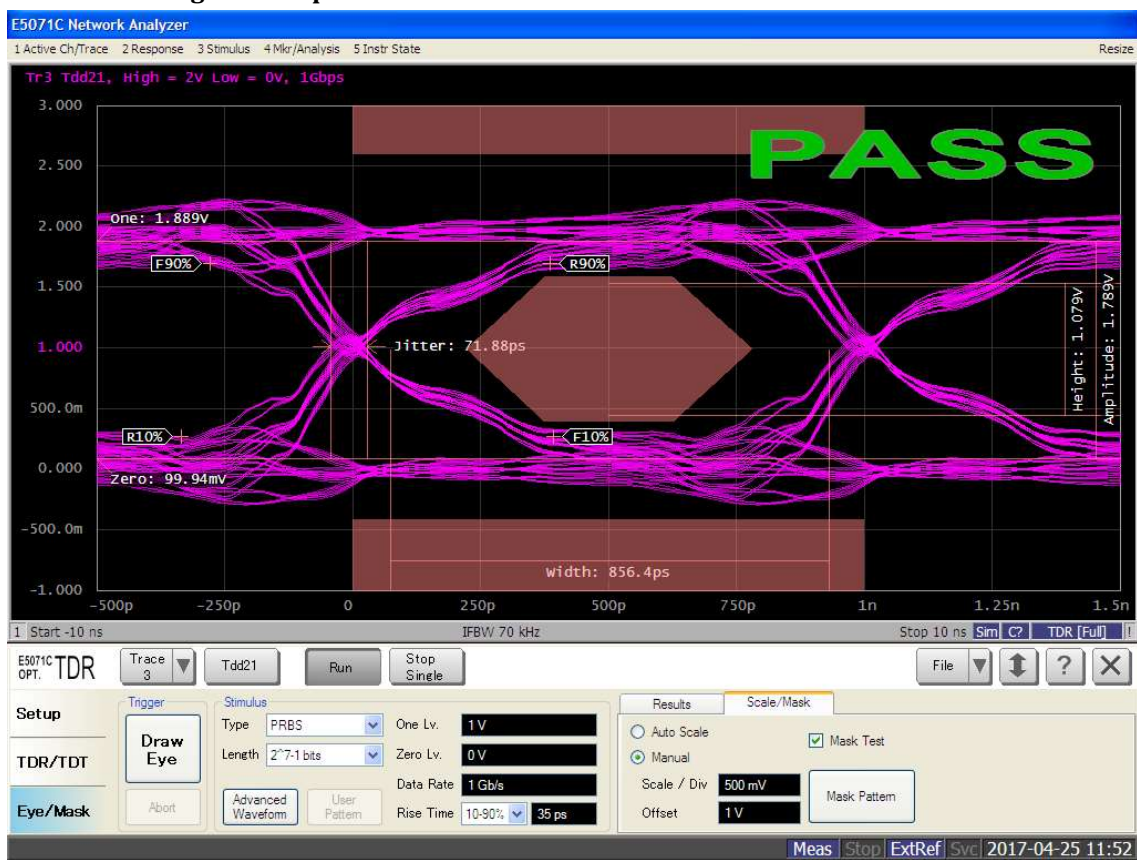
První část měření kvality přenosu signálu přes ethernetový kabel typu CAT5e UTP probíhala dle postupu měření, uvedeného v kapitole 3.9. Bylo provedeno celkem dvanáct měření, z toho šest za účelem změření přeslechu signálu na blízkém konci vedení NEXT mezi všemi páry ethernetového kabelu navzájem. Zbývajících šest za účelem zjištění míry přeslechu na vzdáleném konci kabelu FEXT, taktéž mezi všemi kombinacemi párů.

Měření probíhalo vždy v kmitočtovém pásmu 300 kHz až 1 GHz, s nastavenou toleranční maskou Ethernet 100BASE-TX. Následně jsme uskutečnili dalších dvanáct měření parametrů NEXT a FEXT s nastavením toleranční masky Ethernet 1000BASE-T.

Analyzátor ENA E5071C vyhodnotil u kabelu CAT5e UTP přenos obou standardizovaných signálů za vyhovující, tedy splňující požadavky na přenos gigabitového ethernetu. Míra rušivého signálu z okolních párů kabelu není pro další provoz ve vysokorychlostní síti omezující. Taktéž hodnota útlumu přeslechu byla naměřena výše, než je nejnižší přípustná hodnota dle kabelové normy ANSI/TIA/EIA 568, a to 30.1 dB.



Obr. 3.10-1 Diagram oka pro toleranční masku Ethernet 100BASE-TX



Obr. 3.10-2 Diagram oka pro toleranční masku Ethernet 1000BASE-T

3.10.2 Kvalita přenosu signálu na kluzném kontaktu

Ve druhé části měření přenosu ethernetového signálu masky 100BASE-TX a masky 1000BASE-T jsme postupovali opět podle kapitoly 3.9. a využili pro analýzu kroužkostroj PENLINK SRC-022-24 S/N 65700026. Jednalo se o již, v praxi používaný, typ kroužkostroje. Datový kabel byl měřen pouze sám o sobě, bez dalšího okolního rušení z ostatních vodičů kluzného kontaktu, jež se v praxi využívají pro napájení kamerového systému a svým elektromagnetickým polem mohou nepříznivě ovlivňovat kvalitu přenášeného signálu v návaznosti na těsnou blízkost vodičů samotných.

Nicméně tato varianta testu, tzn. měření datového kabelu bez současného vedení proudu napájecími vodiči, byla zvolena záměrně, jelikož bylo cílem porovnat kvalitu čistě datového klasického ethernetového kabelu a kabelu používaného pro ethernetový provoz v kroužkostroji.

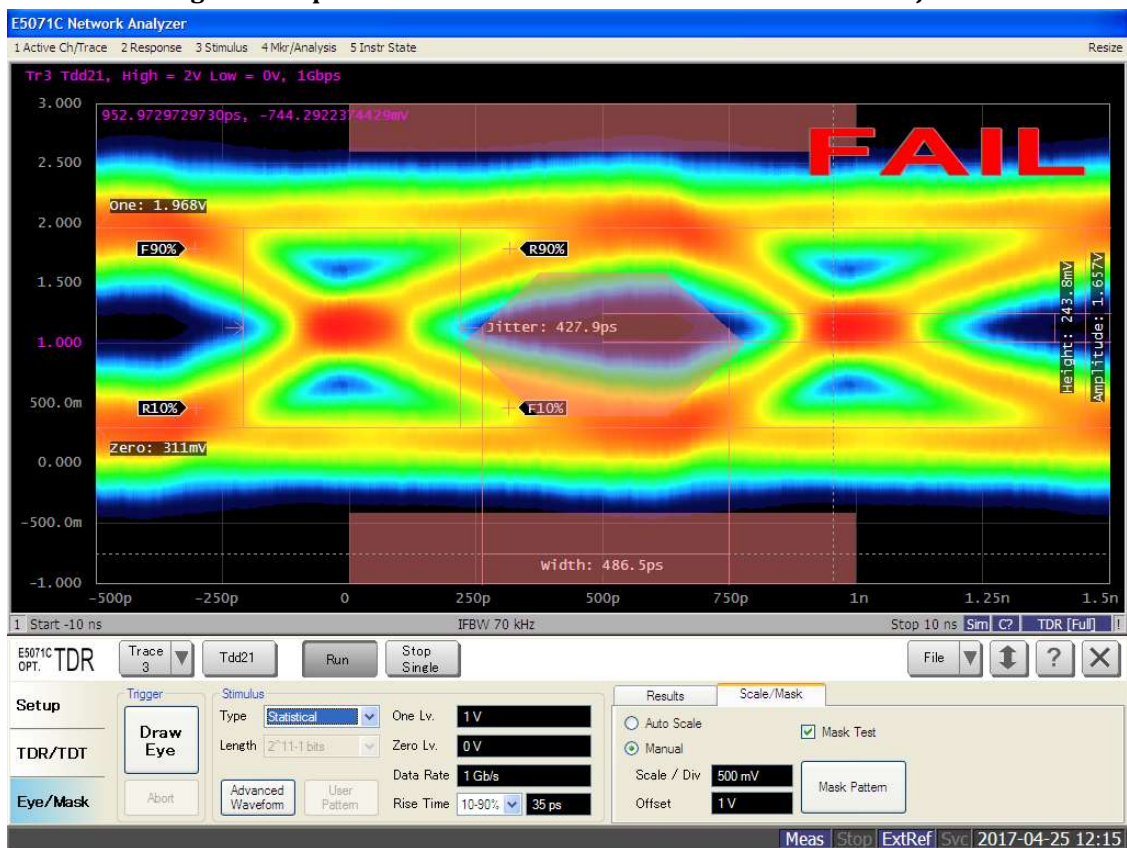
Analyzátor ENA E5071C vyhodnotil test toleranční ethernetovou maskou 100BASE-TX za přípustný z hlediska rušení i z hlediska útlumu přeslechu mezi jednotlivými páry kabelu.

Naměřené parametry přeslechu na blízkém konci, NEXT i přeslechu na vzdáleném konci FEXT se pohybují dostatečně vysoko nad standardizovanou hodnotou útlumu. Naopak u druhé série měření, s toleranční maskou Ethernet 1000BASE-T je již situace z hlediska rušení nepřípustná a útlum přeslechu mezi jednotlivými páry datového kabelu je příliš nízký.

Kvalita přenosu signálu je v protokolu Ethernet 1000BASE-T velmi slabá a tedy zároveň náchylná k výskytu rušení v podobě částečných či úplným výpadků signálu



Obr. 3.10-3 Diagram oka pro toleranční masku 100BASE-TX u kroužkostroje



Obr. 3.10-4 Diagram oka pro toleranční masku Ethernet 1000BASE-T u kroužkostroje

4 VLIV DEGRADAČNÍCH ČINITELŮ NA PŘENOS SIGNÁLU ZE STACIONÁRNÍ NA ROTAČNÍ ČÁST A VLIV PROUDOVÉHO ZATÍŽENÍ NA KVALITU KLUZNÉHO KONTAKTU KROUŽKOSTROJE

Dříve než se pustíme do rozboru konkrétních degradačních činitelů působících na přenos signálu a vlivu proudového zatížení na kvalitu kluzného kontaktu, provedeme obecné seznámení s těmito pojmy. Má to své opodstatnění především z toho důvodu, že jednotlivé elektrotechnické a elektronické součásti reagují na různé degradační činitele dle svého provedení, zaměření a předurčení.

Taktéž citlivost spousty systémů na tyto nežádoucí jevy je různá a mnohdy unikátní. Proto představuje studium, znalost a správná orientace v této oblasti zásadní roli pro navrhování, konstrukci a řešení problémů v provozu.

Degradační činitel – je vše, co působí na výrobek, zařízení nebo stavbu, ev. jejich části tak, že nepříznivě ovlivňuje jejich funkce, např. osoby, voda, zatížení, teplota aj. Degradační mechanismus – je chemické, mechanické nebo fyzikální působení, které vede k nepříznivým změnám u kritické vlastnosti výrobku. (pozn. Znění zák. č. 90/2016 Sb., zák. č. 91/2016 Sb, a zák. č. 22/1997 Sb ve znění pozdějších předpisů, nařízení vlády ČR (NV), harmonizovaných a technických norem)

Proudové zatížení – je množství el. proudu, který je přenášen ze zdroje energie do jednoho nebo více elektrických zařízení, které přijímají energii. Většina zdrojů elektrické energie je schopna poskytnout pouze takovou energii, při které nehrozí zničení samotného zdroje. To znamená, že předtím, než je jakékoliv elektrické zařízení připojeno ke zdroji elektrické energie, je třeba vzít v úvahu současné zatěžovací schopnosti zdroje a požadavky na zatížení použitého zařízení. Jakékoliv zařízení, které je připojeno k napájecímu zdroji, může být poškozeno, pokud je zátěž dodávaná ze zdroje větší než zatížení, které je elektrické zařízení schopno vést. Pokud se tato skutečnost nezohledňuje a zařízení je připojeno ke zdroji energie, které poskytuje mnohem větší proudové zatížení, než je schopno el. zařízení vést, může se zařízení přehřívat a následně poškodit.

4.1 Degradální činitelé působící na přenos signálu

Útlum (Attenuation) – představuje zeslabení přenášeného signálu. Je způsoben odporem, který kabel klade přenášenému signálu – bývá větší pro vyšší frekvence přenášeného signálu (a tedy pro vyšší přenosové rychlosti), a roste také se zmenšováním průměru kabelu. Celková hodnota útlumu je přímo úměrná délce kabelu a je jedním z rozhodujících faktorů, které určují maximální délku souvislého úseku (segmentu) kabelu.

Rušení (Interference) – v okolí kabelu může docházet k různým jevům, které mají nepříznivý vliv na přenášený signál – jde např. o provoz různých elektrických spotřebičů apod. Každý druh kabelu vykazuje obecnou odolnost vůči rušení.

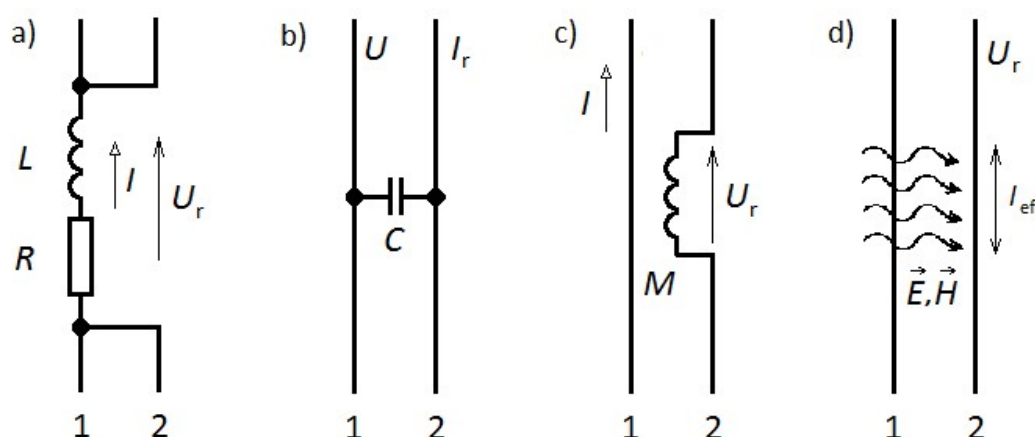
Přeslech (Cross-talk) – jedná se o specifickou formu rušení, kdy signál, přenášený jedním kabelem, ovlivňuje průběh signálu v jiném kabelu – nejčastěji se projevuje u souběžně vedených vodičů. V důsledku útlumu a rušení pak dochází ke zkreslení přenášeného signálu, které se u datových přenosů v konečné podobě projevuje příjmem jiných dat, než jaké byly skutečně vyslány.

Tabulka 4.1.1 Typické hodnoty útlumu a přeslechu NEXT dle normy ANSI/TIA/EIA 568

Kabel CAT5e UTP AWG 24			Kabel CAT5e UTP AWG 26		
Frekvence	Útlum	NEXT min	Frekvence	Útlum	NEXT min
[MHz]	[dB]/100m	[dB]	[MHz]	[dB]/10m	[dB]
1	1,9	71	1	0,3	65
4	0,63,7	62	4	0,6	56
10	6,0	56	10	0,9	50
16	7,6	53	16	1,1	47
20	8,5	51	20	1,3	46
31,2	10,7	49	31,2	1,6	43
62,5	15,7	44	62,5	2,4	38
100	19,8	41	100	3,0	35

Vazební mechanismy přenosu rušivých signálů – přenos interferenčních signálů z jejich zdroje do přijímače, závisí rozhodující měrou na elektromagnetickém vazebním prostředí, tedy na druhu a způsobu vazby mezi zdrojem a přijímačem rušení. Tyto vazby můžeme dělit podle různých hledisek. Např. podle technické realizace může být vazební prostředí tvořeno vzdušným prostorem, stínícími či absorpčními materiály, kmitočtovými filtry, signálovými či napájecími kabely, zemnicími elektroenergetickými soustavami a dalšími druhy mezi systémových vazeb.

Z hlediska fyzikálního principu (který je obvykle pro možnost potlačení parazitních vazeb nejdůležitější) rozdělujeme vazbu galvanickou, kapacitní, induktivní a vazbu vyzařováním (vazbu elektromagnetickým polem). Jejich základní principy působení mezi dvěma vodiči či obvody 1 a 2 jsou spolu s elementárními vztahy pro určení přeneseného rušivého napětí či proudu schematicky naznačeny níže.

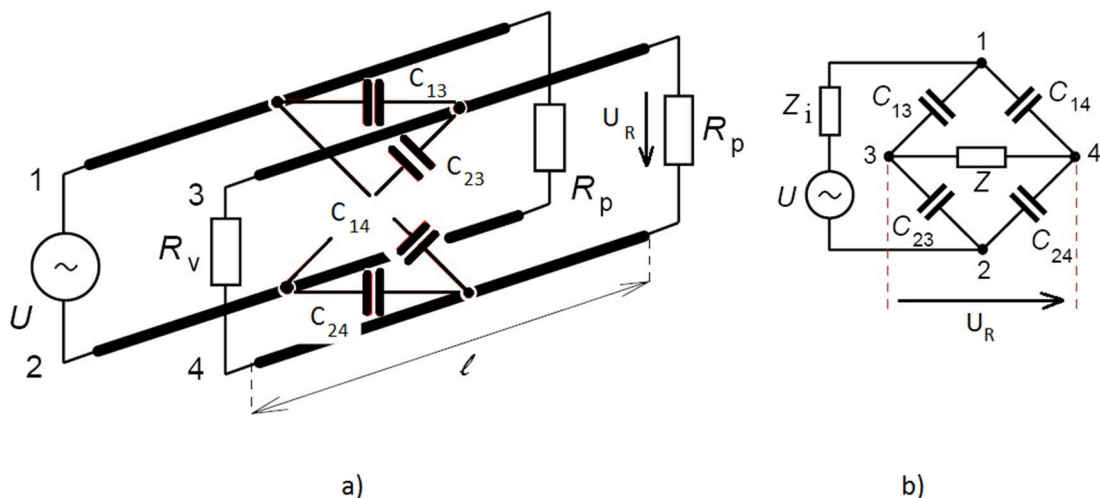


Obr. 4.1-1 Vazební mechanismy přenosu rušivých signálů

Legenda: a) Galvanická vazba
b) Kapacitní vazba
c) Induktivní vazba
d) Vyzařovací vazba

Kapacitní vazba – je způsobena existencí parazitních kapacit mezi vodiči (rušícím a rušeným) nebo mezi jednotlivými částmi obvodů či konstrukce zařízení. Parazitní kapacitou modelujeme elektrické pole, které existuje mezi každými dvěma vodiči (vodivými částmi) s různým potenciálem. Tato situace typicky nastává např. při souběžném vedení energetických a signálových či datových kabelů a linek, případně při paralelním vedení vodivých drah plošných spojů.

V technické praxi existuje velké množství různých variant parazitních kapacitních vazeb mezi různými typy obvodů.



Obr. 4.1-2 Kapacitní vazby galvanicky odděleného vedení

Legenda: a) Galvanicky oddělené vedení – kapacitní vazba
b) Náhradní schéma kapacitních vazeb

4.2 Vliv proudového zatížení působící na kluzný kontakt kroužkostroje

Velikost opotřebení kartáčů je rozhodující měrou ovlivněna proudovým zatížením kartáčů. V zásadě je možno říci, že čím větší je proudové zatížení kartáče, tím vyšší je i jeho opotřebení. Proud procházející přes kartáč způsobuje přemísťování materiálu kartáče mezi třecími plochami, případně jeho ulpívání na povrchu kroužku (uhlíková složka patiny). Takové čistě elektrické opotřebení je velmi žádoucí, neboť produkt tohoto opotřebení působí velmi příznivě na třecí podmínky mezi kartáčem a kroužkem, snižuje vibrace a hluk kartáčů, apod..

Dobré kluzné podmínky (klidný, bezhlučný a bezjiskrový chod), jsou sice prvořadými podmínkami pro uspokojivou činnost kluzného kontaktu, což ovšem nevylučuje možnost označení kartáčů jako nekvalitních, jestliže výborných kluzných vlastností bylo dosaženo na úkor abnormálního opotřebení kartáčů.

S proudovým zatížením kartáčů se opotřebení zvyšuje nejdříve lineárně, ale od hodnot cca $12 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$ roste již značně rychleji.

V našem případě se jedná o kluzný kontakt tzv. typu „kov na kov“, což znamená, že materiál použitý na kartáče i kroužky, je na základě svých elektrických vlastností, schopen snášet proudové zatížení i několikanásobně vyšší, než je jmenovité proudové zatížení.

Materiálem jsou často slitiny drahých kovů jako jsou zlato, stříbro, apod., jež se vyznačují velmi dobrými tepelnými a elektrovednými vlastnostmi.

Z těchto důvodů je velmi složité, na základě provedených měření úbytků napětí na kluzném kontaktu kroužkostroje konstatovat, zda dochází k degradaci samotného kluzného kontaktu či nikoliv. Je to z toho důvodu, že použité slitiny drahých kovů jsou elektricky i teplotně velice odolné a prakticky je bez dalšího důkladnějšího zkoumání není možné kvalitativně vyhodnotit.

Proto je více než vhodné, pokračovat i nadále ve studiu a zkoumání tohoto typu kluzného kontaktu pomocí jiných metod měření kvalitativních vlastností těchto materiálů, jež však přesahují rámec diplomové práce.

5 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Pomocí Ohmovy metody měření malých odporů, bylo provedeno měření vlivu proudového zatížení na velikost úbytku napětí a přechodového odporu na kluzném kontaktu šesti kroužkostrojů. Jednalo se o tři kroužkostroje SRC022-24 a tři AC6023.

Z celkového počtu tří vzorků od každého typu, byl vždy jeden již používaný v provozu a dva zbývající úplně nové. Postupovalo se, dle pracovního postupu uvedeného v PŘÍLOZE 1, s těmito dosaženými výsledky.

Tabulka 4.2.1 Sběrací kroužek PENLINK č.1 (NOVÝ)

PENLINK 1 NOVÝ				
číslo měření	Un[V]	Rp[Ω]	In[A]	ΔU[mV]
0.	19,0	0	0	0
1.	19,0	0,0724	1,0	72,4
2.	19,0	0,0755	2,0	151,0
3	19,0	0,0741	3,0	222,2
4	19,0	0,0743	4,0	297,0
5	19,0	0,0750	5,0	375,0
6	19,0	0,0755	6,0	453,0
7	19,0	0,0760	7,0	532,0
8	19,0	0,0770	8,0	616,0
9	19,0	0,1	9,0	703,0
10	19,0	0,1	10,0	790,0

Tabulka 4.2.2 Sběrací kroužek PENLINK č.2 (NOVÝ),

PENLINK 2 NOVÝ				
číslo měření	Un[V]	Rp[Ω]	In[A]	ΔU[mV]
0.	19,0	0	0	0
1.	19,0	0,0853	1,0	85,3
2.	19,0	0,0850	2,0	169,9
3	19,0	0,0860	3,0	258,0
4	19,0	0,0868	4,0	347,0
5	19,0	0,0874	5,0	437,0
6	19,0	0,0882	6,0	529,0
7	19,0	0,0893	7,0	625,0
8	19,0	0,0901	8,0	721,0
9	19,0	0,0912	9,0	821,0
10	19,0	0,0931	10,0	931,0

Tabulka 4.2.3 Sběrací kroužek PENLINK č.3 (POUŽÍVANÝ),

PENLINK 3 POUŽÍVANÝ				
číslo měření	Un[V]	Rp[Ω]	In[A]	ΔU[mV]
0.	19,0	0	0	0
1.	19,0	0,0550	1,0	55,0
2.	19,0	0,0546	2,0	109,1
3	19,0	0,0555	3,0	166,5
4	19,0	0,0553	4,0	221,0
5	19,0	0,0556	5,0	278,0
6	19,0	0,0560	6,0	336,0
7	19,0	0,0563	7,0	394,0
8	19,0	0,0569	8,0	455,0
9	19,0	0,0573	9,0	516,0
10	19,0	0,0579	10,0	579,0

Tabulka 4.2.4 MOOG č.1 NOVÝ

MOOG 1-NOVÝ otáčky n = 10 ot/min-1			
číslo měření	Un[V]	Iz[A]	ΔU[mV]
1.	19,0	1,0	64,0
2.	19,0	2,0	123,0
3	19,0	3,0	184,0
4	19,0	4,0	246,0
5	19,0	5,0	309,0
6	19,0	6,0	371,0
7	19,0	7,0	437,0
8	19,0	8,0	507,0
9	19,0	9,0	566,0
10	19,0	10,0	640,0

Tabulka 4.2.5 Porovnání úbytků napětí nových kroužkостrojů SRC022-24 a AC6023

POROVNÁNÍ ÚBYTKŮ NAPĚTÍ NOVÝCH KROUŽKOSTROJŮ			
PENLINK	MOOG	ROZDÍL %	PRŮMĚR %
84,56	60,5	28,5	29,8
170,46	122,5	28,1	
257,03	182,5	29,0	
345,75	244	29,4	
437,25	307	29,8	
528,13	371,5	29,7	
623	434,5	30,3	
721,38	502	30,4	
822,38	566	31,2	
930,5	636,5	31,6	

Tabulka 4.2.6 MOOG 2 POUŽÍVANÝ

MOOG 2 POUŽÍVANÝ otáčky n = 10 ot/min-1			
číslo měření	Un[V]	Iz[A]	ΔU[mV]
1.	19,0	1,0	56,6
2.	19,0	2,0	124,1
3	19,0	3,0	188,0
4	19,0	4,0	251,0
5	19,0	5,0	315,0
6	19,0	6,0	383,0
7	19,0	7,0	446,0
8	19,0	8,0	515,0
9	19,0	9,0	585,0
10	19,0	10,0	657,0

Tabulka 4.2.7 MOOG 3 NOVÝ

MOOG 3 NOVÝ otáčky n = 10 ot/min-1			
číslo měření	Un[V]	Iz[A]	ΔU[mV]
1.	19,0	1,0	57,0
2.	19,0	2,0	122,0
3	19,0	3,0	181,0
4	19,0	4,0	242,0
5	19,0	5,0	305,0
6	19,0	6,0	372,0
7	19,0	7,0	432,0
8	19,0	8,0	497,0
9	19,0	9,0	566,0
10	19,0	10,0	633,0

Pozn.: V prvních dvou sloupcích (PENLINK, MOOG) jsou uvedeny průměrné hodnoty úbytku napětí v závislosti na zatěžovacím proudu, ze všech měření, které byly prováděny na nových, nepoužitých kroužkостrojích obou firem.

POROVNÁNÍ ÚBYTKŮ NAPĚTÍ NOVÝCH KROUŽKOSTROJŮ ZNAČEK PENLINK A MOOG



Obr. 4.2-1 Porovnání úbytků napětí nových kroužkостrojů SRC022-24 a AC6023

Použité přístroje a pomůcky

Voltmetr, multimetr METEX M38000, v.č. 936973

Ampérmetr, TP 0,5, v.č. 55354, 24A

Regulovaný zdroj STATRON, typ: 3234.1, OUT 0-32V, 0-24A, v.č. 011012,

Regulovaný zdroj STATRON, typ: 3231.1, OUT 0-32V, 0-6,4A, v.č. 1110023,

Stejnoseměrný motor MAXON typ: 200244, v.č. 1767927,

Reostat, METRA Blansko, v.č. 2200994, 3Ω, 13A,

Svorkovnicové pole, 42 svorek, bez v.č.,

Manipulátor MSO-2/A, EVPÚ Defence, v.č. bez v.č.,

Kroužkostroj PENLINK SRC022-24 (3), v.č. 65700026,

Kroužkostroj PENLINK SRC022-24, (2), v.č. 65700306,

Kroužkostroj PENLINK SRC022-24, (1) v.č. 65700341.

Kroužkostroj MOOG 1 AC623, bez v.č.

Kroužkostroj MOOG 2 AC6023, bez v.č.

Kroužkostroj MOOG 3 AC6023, bez v.č.

Na základě provedených a vyhodnocených měření kroužkostrojů americké firmy MOOG můžeme konstatovat, že tyto vykazují téměř o 30% nižší úbytek napětí na kluzném kontaktu, než švédské kroužkostroje firmy PENLINK. Dále pak je z grafů vidět, že se jedná o kluzný kontakt typu kov-kov, v našem případě slitiny zlata-slitiny zlata, a proto vykazují všechny vynesené charakteristiky téměř lineární průběh.

Dílčím doporučením pro uživatele těchto typů kroužkostrojů, firmu EVPÚ Defence a.s., na základě měření elektrické veličiny, (úbytku napětí na kluzném kontaktu), je, přednostně používat ve svých aplikacích kroužkostroje americké firmy MOOG.

5.1 Výsledky měření parametru NEXT a FEXT

Měření parametru blízkého přeslechu, tedy tzv. NEXT a vzdáleného přeslechu FEXT bylo provedeno u kabelu CAT5e a kroužkostroje PENLINK (používaného) na základě postupu měření v kapitole 3.8 s těmito výsledky.

Měření bylo provedeno pro ethernetovou masku 100BASE-TX a 1000BASE-T.

Tabulka 5.1.1 Kabel CAT5e-naměřené hodnoty NEXT

	NEXT [dB]					
CAT5e	M1	M2	M3	M4	M5	M6
100BASE-TX	46	48	47,2	46,2	44,9	46,1
1000BASE-T	46,4	46	45,8	46,1	46	46,4
ANSI/TIA/EIA568	>30,1	>30,1	>30,1	>30,1	>30,1	>30,1
Splnil/Nesplnil	Splnil	Splnil	Splnil	Splnil	Splnil	Splnil

Tabulka 5.1.2 Kabel CAT5e - naměřené hodnoty FEXT

	NEXT [dB]					
CAT5e	M1	M2	M3	M4	M5	M6
100BASE-TX	45,8	47,2	46,2	47,5	45,8	46,3
1000BASE-T	44,9	46,5	45,2	46,4	44,3	45,2
ANSI/TIA/EIA568	>23,8	>23,8	>23,8	>23,8	>23,8	>23,8
Splnil/Nesplnil	Splnil	Splnil	Splnil	Splnil	Splnil	Splnil

Tabulka 5.1.3 SRC022-24 naměřené hodnoty NEXT

	NEXT [dB]					
SRC022-24	M1	M2	M3	M4	M5	M6
IEEE 802.3	>27,1	>27,1	>27,1	>27,1	>27,1	>27,1
100BASE-TX	25,7	31,5	24,4	26,9	31,5	25,5
Splnil/Nesplnil	Nesplnil	Splnil	Nesplnil	Nesplnil	Splnil	Nesplnil
1000BASE-T	21,8	32	26,9	16	21,5	27,1
Splnil/Nesplnil	Nesplnil	Splnil	Nesplnil	Nesplnil	Nesplnil	Splnil

Tabulka 5.1.4 SRC022-24 - naměřené hodnoty FEXT

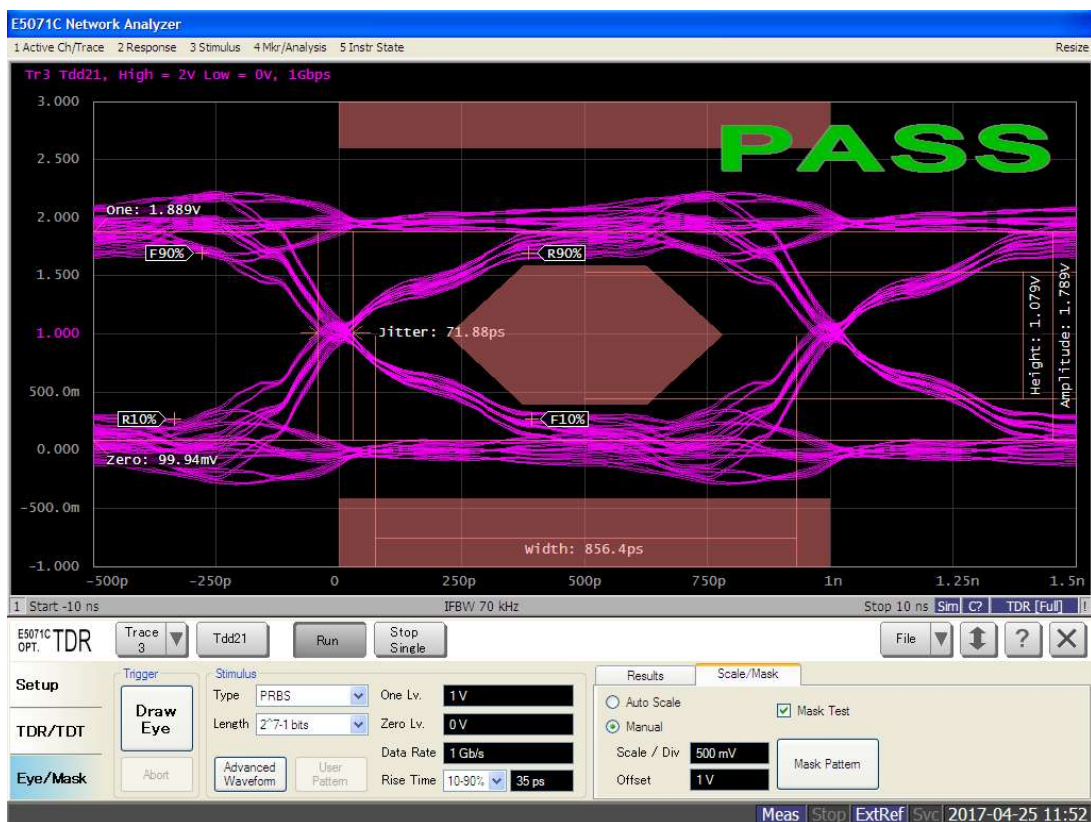
	NEXT [dB]					
SRC022-24	M1	M2	M3	M4	M5	M6
IEEE 802.3	>23,8	>23,8	>23,8	>23,8	>23,8	>23,8
100BASE-TX	22,6	21,8	23,5	20,2	24,2	26,4
Splnil/Nesplnil	Nesplnil	Nesplnil	Nesplnil	Nesplnil	Splnil	Splnil
1000BASE-T	30,8	27,2	25,9	26,3	31,6	33,4
Splnil/Nesplnil	Splnil	Splnil	Splnil	Splnil	Splnil	Splnil

Je nutné podotknout, že parametr NEXT je v technické literatuře považován za více vypovídající parametr z hlediska měření přeslechů, než parametr FEXT. Pokud tedy měření ukázalo, že přeslech na vzdáleném konci FEXT je z hlediska norem vpořádku, nemuselo to nutně znamenat, že testované zařízení bylo pro následující provoz vhodné. Pro vyhodnocení zařízení je nutné změřit parametr NEXT.

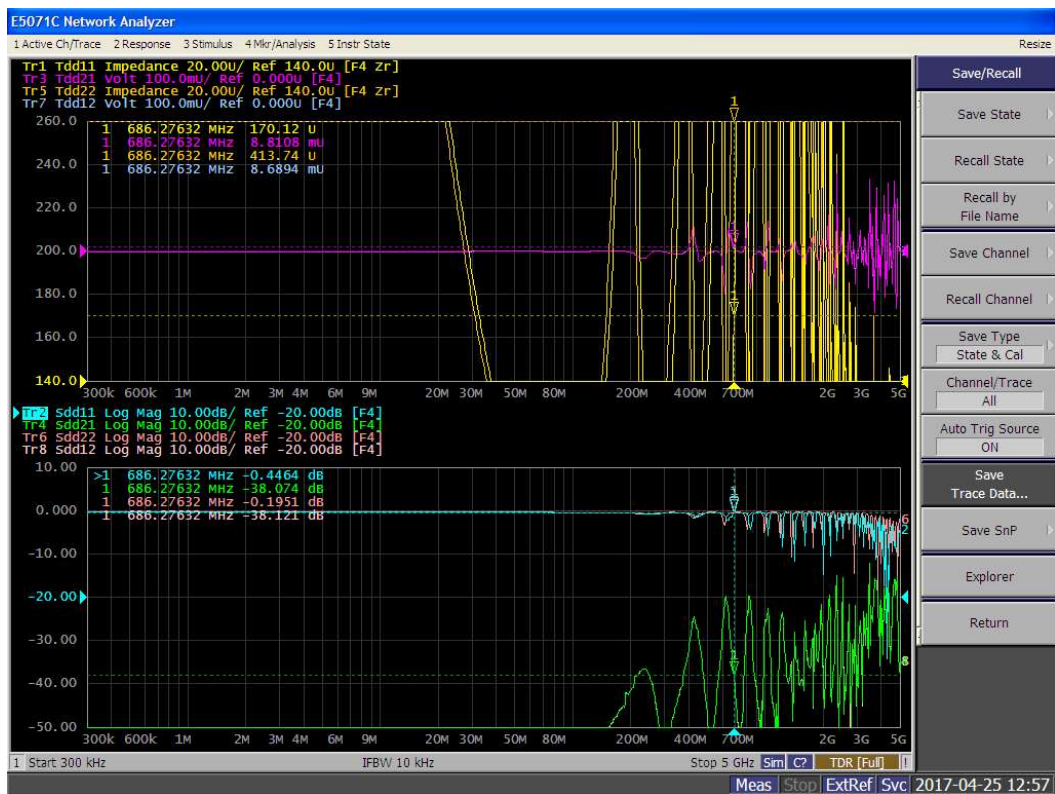


Obr. 5.1-1 Kabel CAT5e UTP, maska 100BASE-TX

Legenda: 1 – Šířka impulsu
 2 – Datová rychlost
 3 – Náběžná hrana



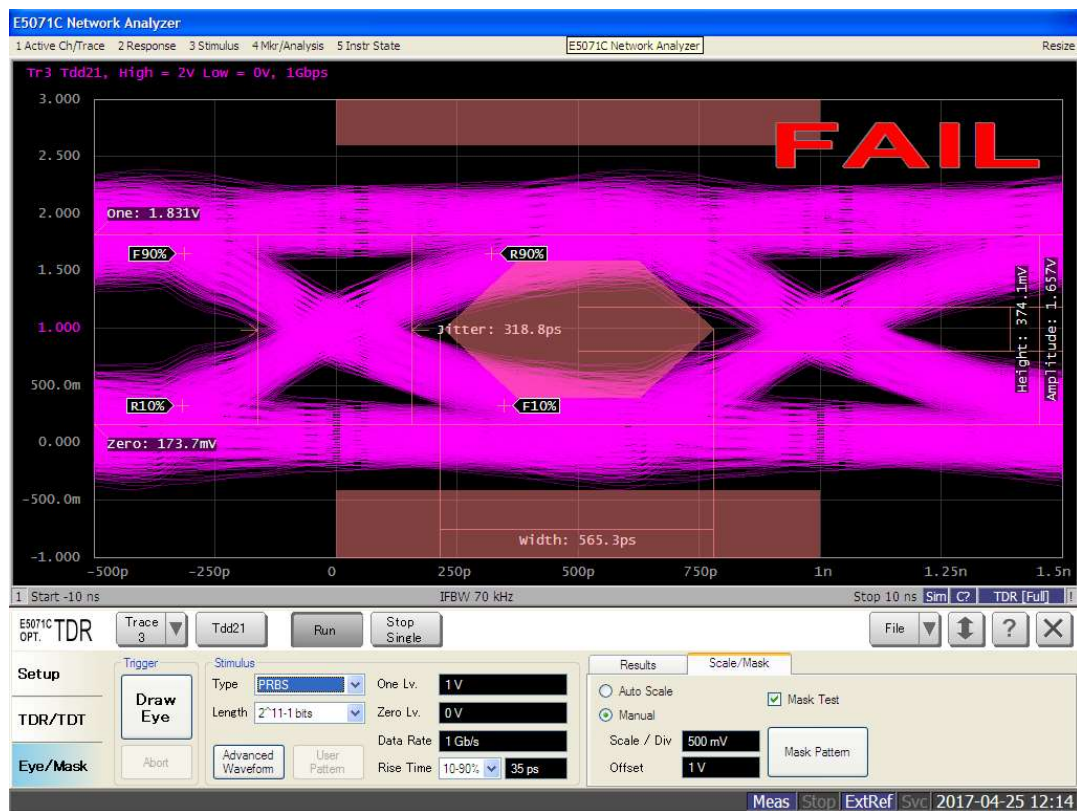
Obr. 5.1-2 Kabel CAT5e UTP, maska 1000BASE-T



Obr. 5.1-3 Kabel CAT5e UTP, přeslech NEXT



Obr. 5.1-4 Kroužkostroj PENLINK, maska 100BASE-TX



Obr. 5.1-5 Kroužkostroj PENLINK, maska 1000BASE-T



Obr. 5.1-6 Kroužkostroj PENLINK, přeslech NEXT

Legenda: 1 – Naměřené hodnoty NEXT, $f = 100 \text{ MHz}$, $A = 25,712 \text{ Db}$
 2 – Oblast provozních kmitočtů 100BASE-TX a 1000BASE-T

Na základě provedených měření můžeme konstatovat, že certifikovaný kabel kategorie CAT5e, z hlediska kritických parametrů přenosu signálu NEXT i FEXT, vyhovuje normě ANSI/TIA/EIA 568 jak pro Ethernet typu 100BASE-TX tak i pro jeho rychlejší variantu 1000BASE-T. Měření kroužkostroj se v případě ethernetového protokolu 100BASE-TX pohybuje z hlediska přenosu signálu i z hlediska přeslechu na blízkém konci NEXT i FEXT, na přípustné hraně normy IEEE 802.3, ale naopak v případě vyššího protokolu 1000BASE-T je míra přenosu rušení i přeslechů od sousedních datových kabelů vyšší než povolená normou

Z Tab. 5.1-2 je v případě ethernetové rychlosti 100BASE-TX i 1000BASE-T vidět, že pouze ve dvou měření z celkových šesti je hodnota útlumu přeslechu na blízkém konci vyšší, než stanovuje mezinárodní norma IEEE 802.3, proto byl testovaný kroužkostroj SRC022-24 vyhodnocen jako nevyhovující pro gigabitový Ethernet.

ZÁVĚR

Měření vlivu proudového zatížení na správný chod kluzného kontaktu a měření kvality přenosu signálu ze statické na rotační část kluzného kontaktu kroužkostroje byla prováděna na zkušebních vzorcích kroužkostrojů firmy EVPÚ DEFENCE a.s. vůbec poprvé. Do této chvíle nebyla prováděna podobná analýza těchto kompaktních komponentů, jež jsou jednou z hlavních funkčních součástí kamerových monitorovacích systémů a hrají důležitou roli v procesu přenosu datových i napájecích signálů.

Součástí analýzy kluzného kontaktu bylo vytvoření unikátního měřicího přípravku, a celého měřicího pracoviště, odpovídajícího potřebám měření.

Výsledky jednotlivých fází měření jsou přínosné pro další postup zkoumání tohoto typu kluzného kontaktu. Proto navrhuji i nadále, ve spolupráci s firmou EVPÚ DEFENCE a.s., pokračovat a rozvíjet hlubší studium problematiky kluzného kontaktu kroužkostroje, za využití dalších dostupných měřících metod, jež v danou chvíli přesahují rámec diplomové práce

LITERATURA

- [1] *Motion technology catalog* [online]. MOOG COMPONENTS GROUP, Inc. 2013, dostupné z: www.moog.com/components
- [2] *Compact Slip Ring SRC022-24* [online]. PENLINK AB, dostupné z: www.penlink.se/files/SRC022.pdf
- [3] *Kluzný kontakt v elektrických strojích*. CHMELÍK, K., VESELKA, F., Ostrava, KEY Publishing s.r.o., ISBN 978-80-87071-59-5
- [4] *Fiber brush slip ring assembly, Patent US 4398113 A*. [online] NORRIS E. LEWIS, JEAN A. SKILES, 1983, Litton Systems, Inc., dostupné z: <http://www.google.com/patents/US4398113>
- [5] *Měření strukturované kabeláže* [online]. INTELEK spol s.r.o., dostupné z: <http://www.intelek.cz/info.jsp?doc=5C48DFAC7571DD9CC125734C0068E61A&lotus=1>
- [6] *Analýza přenosových parametrů metalických vedení*. PRAVDA, I., Praha, ČVUT
- [7] *Pokročilá měření digitálním osciloskopem DPO72004C a vektorovým obvodovým analyzátozem ENA 5071C*. ŠOTNER, R., prezentace PowerPoint, 2014
- [8] *How to choose slip rings for gigabit Ethernet connectivity*. DORSEY, G., Blacksburg, Va, Moog Components Group, 2013